قـررت وزارة الـتعـليـم تـدريس
هـذا الكتـاب وطبعه على نفقتها

المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

الفيزياء 3-3

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثالثة



قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة 1446-2024

يوزع مجاناً ولا يباع

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
الفيزياء ٣-٣ - التعليم الثانوي - نظام المسارات - السنة الثالثة. /
وزارة التعليم - ط ٢٠٢٤. .- الرياض ،١٤٤٥هـ
٢٠٦ ص ؛ ٢٧,٥ x ٢١ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٥/٢٤٢٦٧
ردمك : ١ - ٦٨٣ - ٥١١ - ٦٠٣ - ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم
www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورًا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فورًا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب فيزياء 3–3 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى منها الروابط الرقمية بمنصة عين الإثرائية التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، والمظللة بالأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات

الفصل 1



الحث الكهرومغناطيسي 8

1-1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية .. 9

1-2 تغير المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية 19

الفصل 2

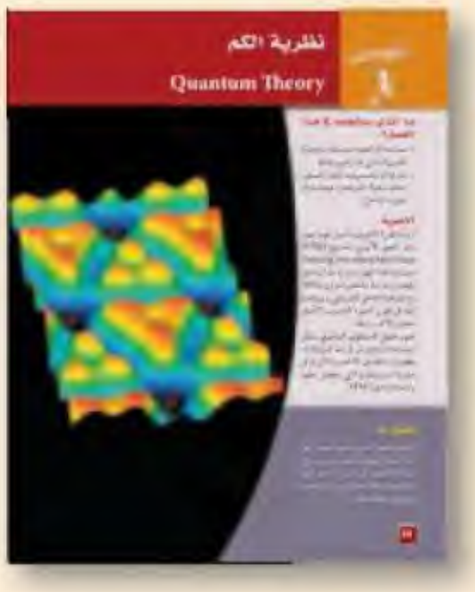


الكهرومغناطيسية 40

2-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة .. 41

2-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء 49

الفصل 3



نظرية الكم 68

3-1 النموذج الجسيمي للموجات 69

3-2 موجات المادة 81

قائمة المحتويات



الفصل 4

الذرة 94

4-1 نمـــوذج بور الـــذري 95

4-2 النمـــوذج الكمي للـــذرة 109

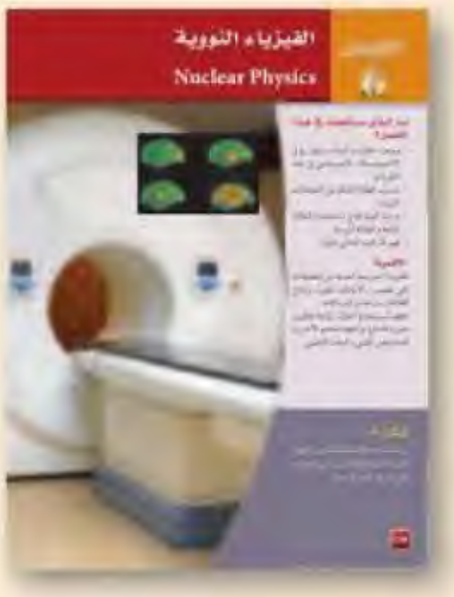


الفصل 5

إلكترونيات الحالة الصلبة..... 126

5-1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة..... 127

5-2 الأدوات الإلكترونية 139



الفصل 6

الفيزياء النووية 156

6-1 النواة 157

6-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية 164

6-3 وحدات بناء المادة 173

دليل الرياضيات..... 193

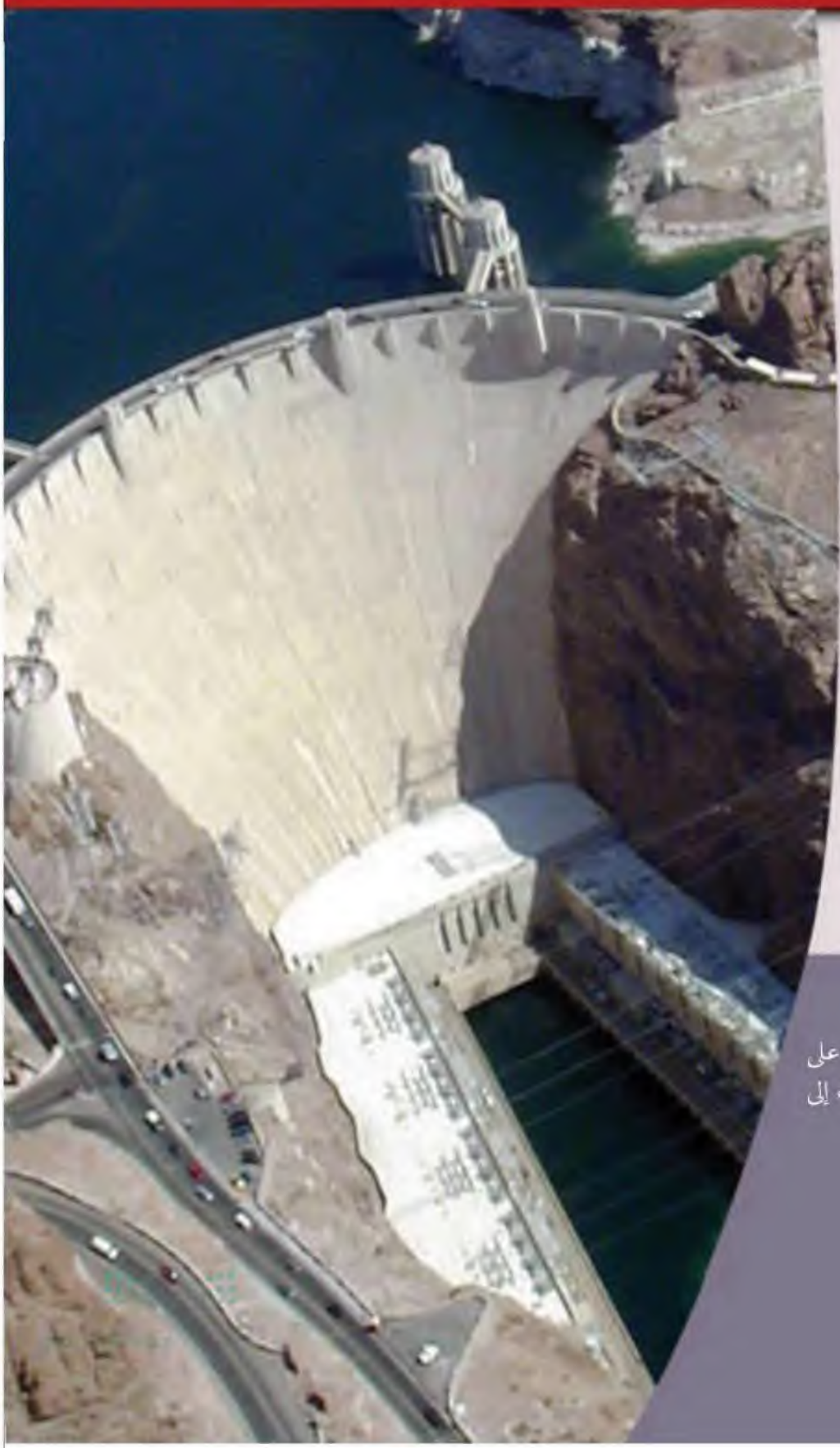
الجداول..... 194

المصطلحات..... 198

الجدول الدوري للعناصر..... 204

الفصل 1

الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic induction



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف كيف يعمل التغير في المجال المغناطيسي على توليد فرق جهد كهربائي.
- تطبيق ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي في تفسير عمل كل من المولدات والمحوّلات الكهربائية.

الأهمية

تشكّل العلاقة بين المجالات المغناطيسية والتيار الكهربائي حجر الأساس للأركان الثلاثة التي تقوم عليها التقنيات الكهربائية: المولدات الكهربائية، والمحركات الكهربائية، والمحولات الكهربائية.

المولدات الكهرومائية تُبنى السدود على الأنهار لتزويد المناطق المجاورة بالطاقة، حيث يتم تحويل طاقة الوضع والطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية.

فكّر ◄

كيف تعمل المولدات الموجودة في السد على تحويل طاقة الوضع والطاقة الحركية للماء إلى طاقة كهربائية؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

ماذا يحدث في المجال المغناطيسي المتغير؟

سؤال التجربة كيف يؤثر المجال المغناطيسي المتغير في ملف سلكي موضوع فيه؟

الخطوات

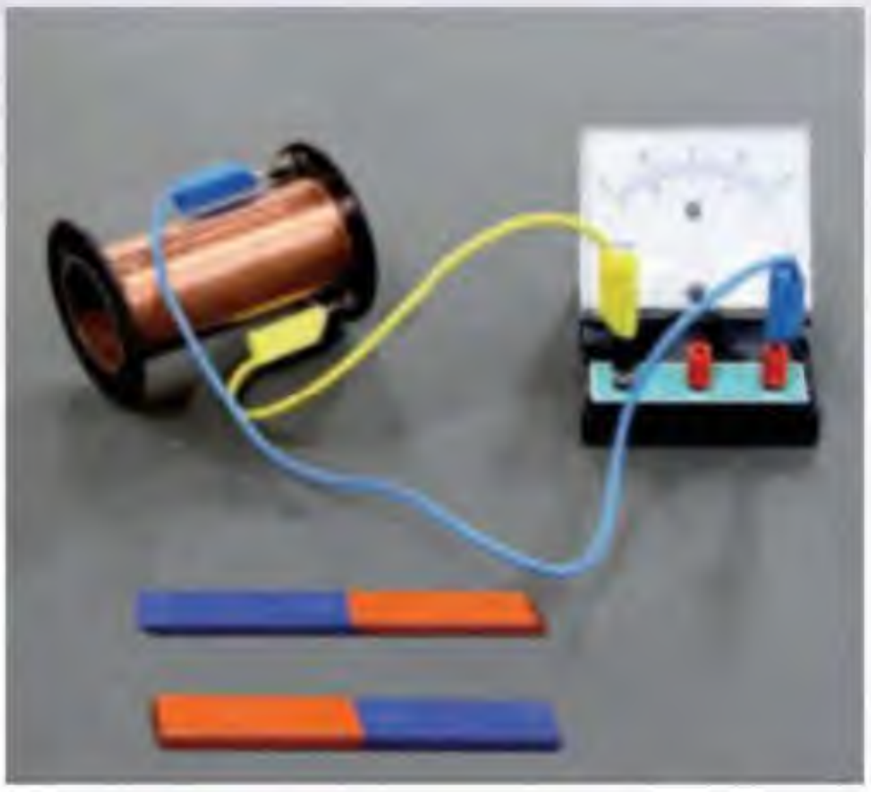
1. ضع قضيبين مغناطيسيين بحيث يبعد أحدهما عن الآخر 8cm. على أنّ تكون أقطابهما المتجاورة مختلفة.
2. صل جلفانومترًا حساسًا بطرفي السلك النحاسي لملف.
3. حرك الملف ببطء بين المغناطيسين، ولاحظ قراءة الجلفانومتر.
4. غيّر زاوية حركة الملف، وسرعة حركته. ماذا تلاحظ؟ دوِّن ملاحظتك.

التحليل

ما الذي يسبب انحراف مؤشر الجلفانومتر؟

ما الحالة التي تجعل قراءة الجلفانومتر أكبر ما يمكن؟

التفكير الناقد ما الذي يحدث في السلك عندما يتحرك الملف السلكي بين المغناطيسين؟



1–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

Electric Current from Changing Magnetic Fields

درست كيف اكتشف أورستد أن التيار الكهربائي يولّد مجالاً مغناطيسيًّا. ووجد العالم مايكل فاراداي أن العكس يجب أن يكون صحيحًا أيضًا؛ فالمجال المغناطيسي يولد تيارًا كهربائيًّا. وفي عام 1822م سجَّل فاراداي هدفًا في دفتر ملاحظاته، وهو تحويل المغناطيسية إلى كهرباء.

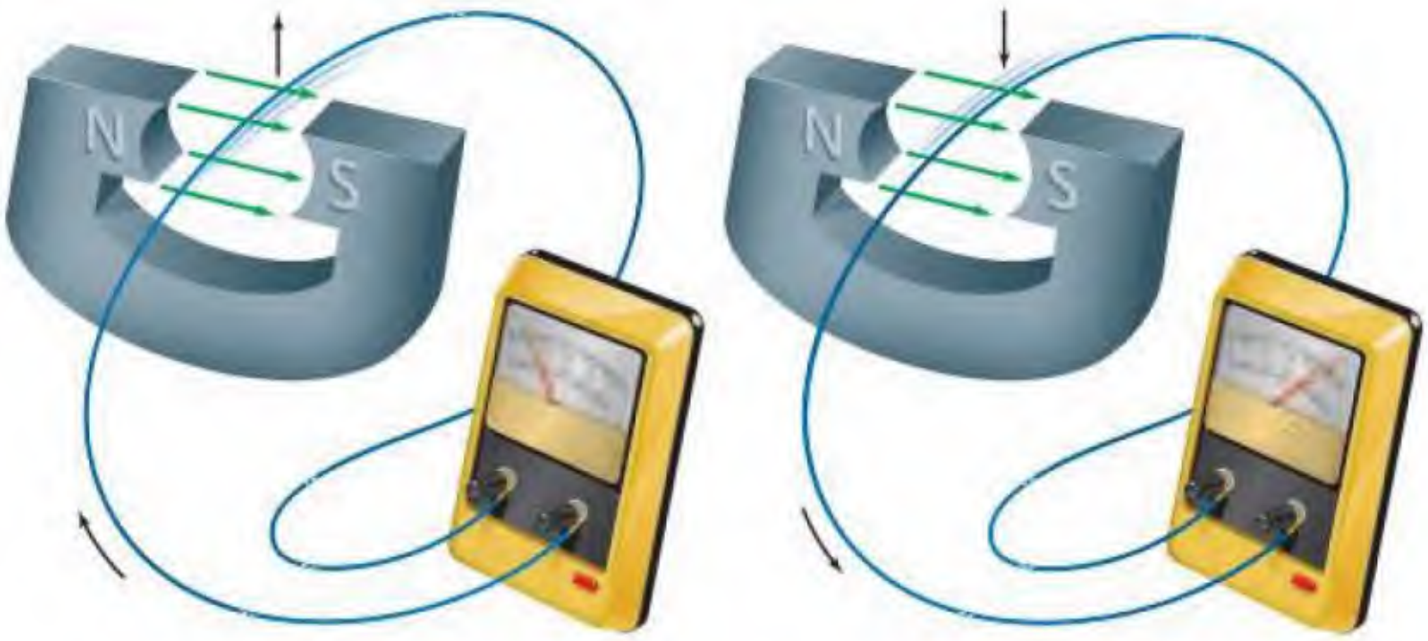
جرّب فاراداي عدة تركيبات للمجال المغناطيسي مع الأسلاك فلم ينجح. وبعد عشر سنوات تقريبًا من التجارب غير الناجحة وجد فاراداي أنه يمكن توليد تيار كهربائي عن طريق تحريك سلك داخل مجال مغناطيسي. وفي السنة نفسها وجد جوزيف هنري المدرس الأمريكي في المدارس الثانوية أن تغيُّر المجال المغناطيسي يمكن أن يولد تيارًا كهربائيًّا. أخذ هنري فكرة طوَّرها عالم آخر، ووسع هذا التطبيق على أدوات تعليمية، لجعلها أكثر حساسية أو أكثر فاعلية. ولم تكن رؤية هنري لهذه الأدوات اكتشافًا جديدًا، إلا أنه جعل هذه الأدوات أكثر فاعلية، كأدوات تعليمية مساعدة. ولم يقرر هنري نشر اكتشافاته.

الأهداف

- توضح كيف يعمل التغير في المجال المغناطيسي على توليد تيار كهربائي حثي.
- **تعرّف** القوة الدافعة الكهربائية.
- **تحل** مسائل تتضمن حركة أسلاك في مجالات مغناطيسية.

المفردات

التيار الكهربائي الحثي
الحث الكهرومغناطيسي
القاعدة الرابعة لليد اليمنى
القوة الدافعة الكهربائية الحثية
المولد الكهربائي
متوسط القدرة



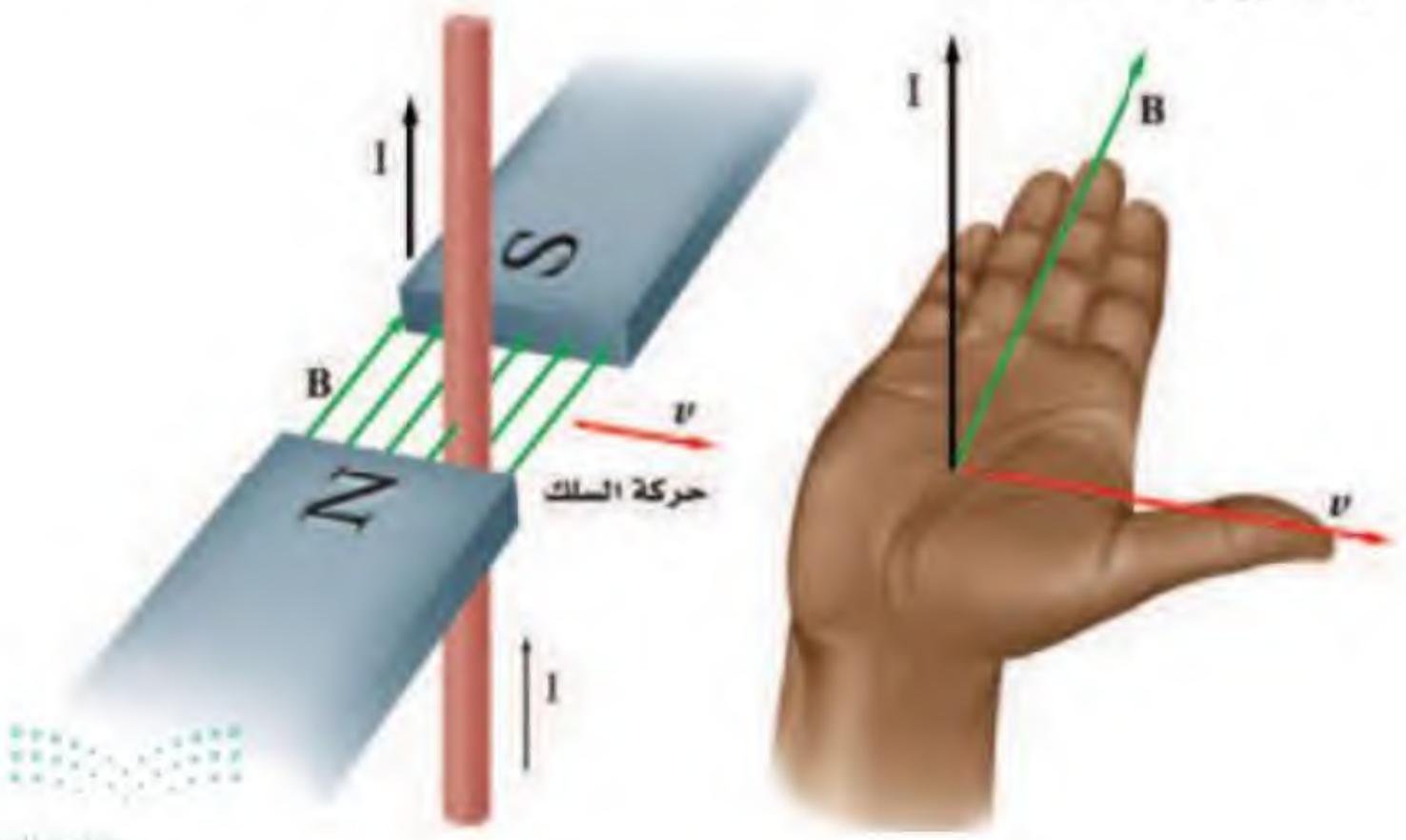
■ **الشكل 1–1** عند تحريك سلك في مجال مغناطيسي يتولد فيه تيار كهربائي في أثناء حركته فقط. ويعتمد اتجاه هذا التيار على اتجاه حركة السلك داخل المجال. وتشير الأسهم إلى اتجاه التيار الاصطلاحي المتولد.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

يوضّح **الشكل 1–1** إحدى تجارب فاراداي التي وضع فيها جزءًا من سلك حلقة لدائرة كهربائية مغلقة داخل مجال مغناطيسي؛ حيث لاحظ عدم تولد تيار كهربائي في السلك عندما كان السلك ساكنًا، أو متحركًا بموازاة المجال المغناطيسي، بينما تولد التيار الكهربائي في اتجاه معين عندما تحرك السلك إلى أعلى داخل المجال المغناطيسي، وكذلك عند تحريك السلك إلى أسفل تولد فيه تيار كهربائي، لكن في الاتجاه المعاكس. إنّ تولد هذا التيار الكهربائي الحثي يحدث فقط عندما يقطع السلك خطوط المجال المغناطيسي في أثناء حركته.

وجد فاراداي أنه لتوليد **التيار الكهربائي الحثي** فإما أن يتحرك السلك في المجال المغناطيسي، أو يتحرك مصدر المجال المغناطيسي في منطقة السلك، أي أن الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي هي التي تولد تيارا كهربائيا حثيًا. وتسمى عملية توليد التيار الكهربائي الحثي في دائرة كهربائية مغلقة بهذه الطريقة **الحث الكهرومغناطيسي**.

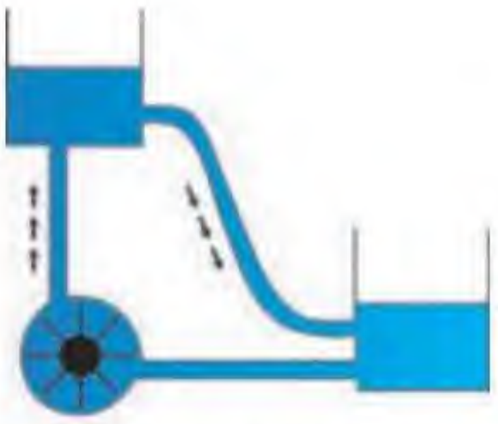
كيف يمكنك تحديد اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد؟ لتحديد اتجاه القوة المؤثرة في الشحنات والتي تحدد اتجاه التيار نستخدم **القاعدة الرابعة لليد اليمنى**. ابسط يدك اليمنى بحيث تشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك، وتشير الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي، وعندئذ سيشير العمودي على باطن الكف نحو الخارج إلى اتجاه التيار الاصطلاحي، كما هو موضّح في **الشكل 2–1**.



■ **الشكل 2–1** يمكن استخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى لتحديد اتجاه التيار الحثي في سلك موضوع داخل مجال مغناطيسي.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية Electromotive Force

تعلمت من خلال دراستك للدوائر الكهربائية أن مصادر الطاقة الكهربائية كالبطارية مثلًا تستخدم في توليد تيار مستمر. وفرق الجهد المبذول في البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربائية، أو **EMF**، إلا أن القوة الدافعة الكهربائية في الواقع ليست قوة، وإنما هي فرق جهد، وتقاس بوحدة الفولت. لذلك قد يكون مصطلح القوة الدافعة الكهربائية مضللاً، مثل العديد من المصطلحات القديمة الأخرى التي لا تزال تستخدم حتى وقتنا الحاضر. ولقد ظهر هذا المصطلح قبل تبلور المبادئ العامة المتعلقة بالكهرباء وفهمها. وتعمل EMF على سريان التيار من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى، تماما كما في مضخة الماء التي تعمل على رفع الماء من المستوى المنخفض إلى المستوى المرتفع، كما هو موضح في **الشكل 3–1**.



الشكل 3–1 تعمل مضخة الماء على رفع الماء من المستوى المنخفض إلى المستوى المرتفع، وبالمثل تعمل القوة الدافعة الكهربائية الحثية على سريان التيار من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى.

ما الذي يولّد فرق الجهد الذي يسبب التيار الكهربائي الحثي في تجربة فاراداي؟ عندما تُحرك سلكًا داخل مجال مغناطيسي يؤثر المجال المغناطيسي بقوة في الشحنات داخل السلك فيحركها في اتجاه القوة، أي أنه قد بُذل شغل على تلك الشحنات، فزاد مقدار طاقة وضعها الكهربائية أو جهدها. ويسمى الفرق في جهدها **القوةَ الدافعة الكهربائية الحثية** EMF، والتي تعتمد على كل من المجال المغناطيسي B، وطول السلك في المجال المغناطيسي L، والمركّبة العمودية لسرعة السلك على المجال $v\ (\sin\theta)$.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية $\mathrm{EMF}=\mathrm{BL}v\ (\sin\theta)$

القوة الدافعة الكهربائية الحثية تساوي حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي، في كل من طول السلك المتأثر بالمجال، ومُركّبة سرعة السلك العمودية على المجال المغناطيسي.



تجربة عملية

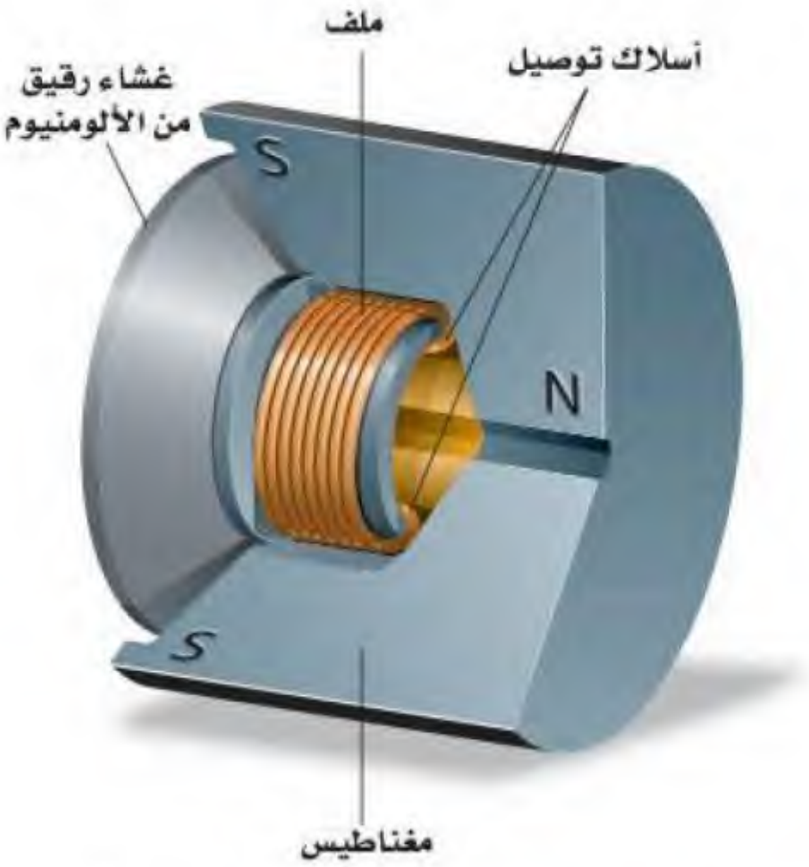
ما الذي يسبب التأرجح؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

إذا تحرك سلك داخل مجال مغناطيسي بحيث يصنع زاوية معه فإن مركّبة السرعة العمودية على المجال المغناطيسي هي فقط التي تولد EMF. أما إذا تحرك السلك بسرعة عمودية على المجال المغناطيسي فإن المعادلة السابقة تصبح كما يأتي: $\mathrm{EMF}=\mathrm{BL}v$؛ لأن $\sin 90^\circ = 1$. ويساعدك التحقق من الوحدات المستخدمة في معادلة EMF على الحصول على الحسابات الجبرية الدقيقة في المسائل المتعلقة بها. إن وحدة قياس EMF هي الفولت V. وقد عرّفت الكمية B في الفصل السابق على أنها $B = F/IL$، لذلك تكون وحدات B هي N/A.m. ووحدة قياس السرعة هي m/s. باستخدام تحليل الوحدات نستنتج أن وحدة القوة الدافعة الكهربائية الحثية هي:

$$(\mathrm{N/A.m})(\mathrm{m})(\mathrm{m/s})=\mathrm{N.m/A.s}$$
$$=\mathrm{J/C}$$
$$=\mathrm{V}$$

تذكر مما تعلمته سابقًا أن $\mathrm{J=N.m}$، و$\mathrm{A=C/s}$، و$\mathrm{V=J/C}$.



■ **الشكل 4–1** يبين الرسم حركة ملف الميكروفون؛ حيث يتصل غشاء رقيق من الألومنيوم بملف موضوع داخل مجال مغناطيسي. وعندما يهتز الغشاء بفعل موجات الصوت يتحرك الملف في المجال المغناطيسي مولّدًا تيارًا كهربائيًا يتناسب مع موجات الصوت.

تطبيق على القوة الدافعة الكهربائية الحثية يعدّ الميكروفون تطبيقًا بسيطًا على القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF. فالميكروفون يشبه السماعة من حيث التركيب؛ حيث يحتوي الميكروفون الموضّح في **الشكل 4–1** على غشاء رقيق يتصل بملف حر الحركة موضوع داخل مجال مغناطيسي. تعمل الموجات الصوتية على اهتزاز الغشاء الرقيق الذي يحرك بدوره الملف داخل المجال المغناطيسي، مما يؤدي إلى توليد EMF بين طرفي الملف. وتتغير EMF الحثية وفق تغير ترددات الصوت؛ إذ تتحول موجات الصوت في هذه العملية إلى نبضات كهربائية، ويكون فرق الجهد المتولد صغيرًا، من رتبة 10^{-3} V، إلا أنه يمكن زيادة فرق الجهد هذا أو تضخيمه باستخدام أدوات إلكترونية.

مثال 1

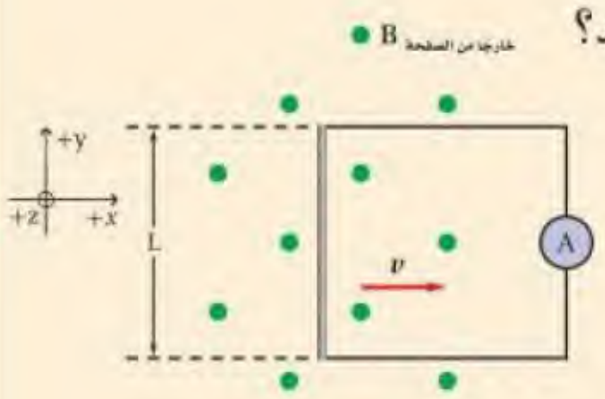
القوة الدافعة الكهربائية الحثية يتحرك سلك مستقيم طوله 0.20 m بسرعة ثابتة مقدارها 7.0 m/s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 8.0×10^{-2} T.

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 0.50 Ω فما مقدار التيار المار في السلك؟

c. إذا استخدم سلك مصنوع من فلز آخر مقاومته 0.78 Ω فما مقدار التيار الجديد المتولد؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- أنشئ نظام محاور.
- ارسم خطًّا مستقيمًا يمثل سلكًا طوله L، وصل معه أميتر لقياس التيار.
- اختر اتجاهًا للمجال المغناطيسي بحيث يكون عموديًّا على طول السلك.
- اختر اتجاهًا للسرعة بحيث يكون عموديًّا على كل من طول السلك والمجال المغناطيسي.

المعلوم		المجهول
$v = 7.0$ m/s	L = 0.20 m	EMF = ?
B = 8.0×10^{-2} T	$R_1 = 0.50\ \Omega$	I = ?
	$R_2 = 0.78\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بالتعويض

$B = 8.0 \times 10^{-2}\ T$ ، $L = 0.20\ m$ ، $v = 7.0\ m/s$

$$EMF = BLv$$
$$= (8.0 \times 10^{-2}\ T)(0.20\ m)(7.0\ m/s)$$
$$= 0.11\ T.m^2/s$$
$$= 0.11\ V$$

b. بالتعويض

$$I = \frac{V}{R}$$
$$= \frac{EMF}{R_1}$$

$V = EMF$

بالتعويض $EMF = 0.11\ V$ ، $R_1 = 0.50\ \Omega$

$$= \frac{0.11\ V}{0.50\ \Omega}$$
$$= 0.22\ A$$

باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى يكون التيار في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

c. بالتعويض

$$I = \frac{EMF}{R_2}$$

$R_2 = 0.78\ \Omega$ ، $EMF = 0.11\ V$

$$= \frac{0.11\ V}{0.78\ \Omega}$$
$$= 0.14\ A$$

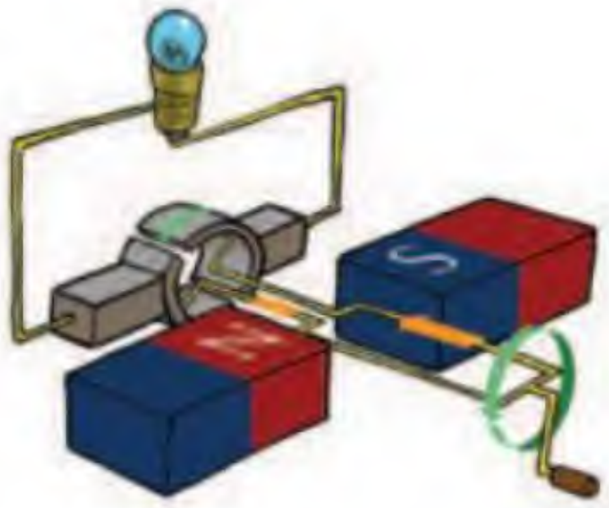
اتجاه التيار في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يعدّ الفولت الوحدة الصحيحة للمقدار EMF. ويقاس التيار بوحدة الأمبير.
- **هل الاتجاه صحيح؟** يحدد الاتجاه وفق القاعدة الرابعة لليد اليمنى؛ حيث تكون v في اتجاه الإبهام، وB في اتجاه الأصابع وF في اتجاه العمودي على باطن الكف نحو الخارج، واتجاه التيار هو اتجاه القوة نفسه.
- **هل الجواب منطقي؟** الإجابات قريبة من 10^{-1}، وهذا يتفق مع القيم المعطاة والعمليات الحسابية.

مسائل تدريبية

1. يتحرك سلك مستقيم طوله 0.5 m إلى أعلى بسرعة 20 cm /s عموديًّا على مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.4 T.
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
   b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة مقاومتها 6.0 Ω فما مقدار التيار المار في الدائرة؟
2. سلك مستقيم طوله 25 m مثبت على طائرة تتحرك بسرعة 125 m /s عموديًّا على المجال المغناطيسي الأرضي $B = 5.0 \times 10^{-5}\ T$. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟
3. يتحرك سلك طوله 30.0 m بسرعة 2.0 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي شدته 1.0 T.
   a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF المتولدة فيه؟
   b. إذا كانت مقاومة الدائرة تساوي 15.0 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟
4. وضع مغناطيس دائم على شكل حذوة فرس بحيث تكون خطوط مجاله المغناطيسي رأسية. مرّر طالب سلكًا مستقيمًا بين قطبيه ثم سحبه نحوه خلال المجال المغناطيسي، فتولد فيه تيار من اليمين إلى اليسار. حدّد القطب الشمالي للمغناطيس.



■ **الشكل 5–1** يتولد تيار كهربائي في حلقة سلكية في أثناء دورانها في مجال مغناطيسي.

المولدات الكهربائية Electric Generators

يحـوّل **المولد الكهربائي (الدينامو)** – الذي اخترعه مايكل فـاراداي – الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية. ويتركب المولد الكهربائي من عدد من الحلقات السـلكية التي توضع داخل مجال مغناطيسي قوي. والسـلك ملفوف حول قلب من الحديد؛ لزيادة شدة المجال المغناطيسي، وهو مماثل للملف المستخدم في المحرك الكهربائي.

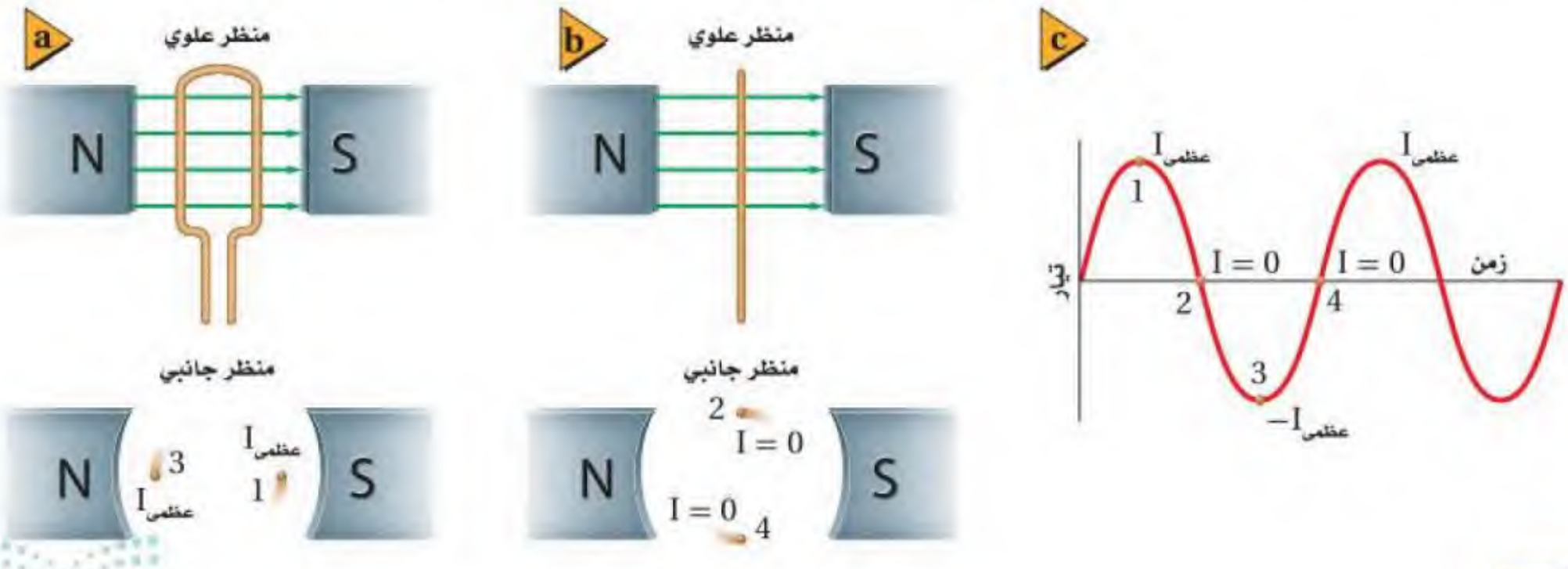
يثبت الملف ذو القلـب الحديدي الخاص بالمولد بحيث يكون حـر الحركة داخل المجال المغناطيسي، وخلال دورانه تقطع حلقاته خطوط المجال المغناطيسي، فتتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، تعتمد على طول السـلك الذي يدور في المجال. وبزيادة عدد لفات الملف يزداد طول السلك، فتزداد EMF الحثية المتولدة.

لاحظ أنه قد يكون جزء فقط من طول السلك موجودًا داخل المجال المغناطيسي. لذا فإن حركة ذلك الجزء فقط هي التي تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية EMF.

التيار الناتج عن مولد كهربائي عند وصل المولد الكهربائي بدائرة مغلقة تُنتج القوة الدافعة الكهربائية الحثية تيارًا كهربائيًا. ويوضح **الشكل 5–1** مولدًا كهربائيًا يتكون من حلقة سلكية مفردة من دون قلب حديد. حيث يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى. ومع دوران الحلقة يتغير مقدار التيار الكهربائي واتجاهه.

نحصل على أكبر قيمة للتيار عندما تكون حركة الحلقة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي؛ أي عندما تكون الحلقة في وضع أفقي، كما هو موضّح في **الشكل 6a–1**. وفي هذا الوضع

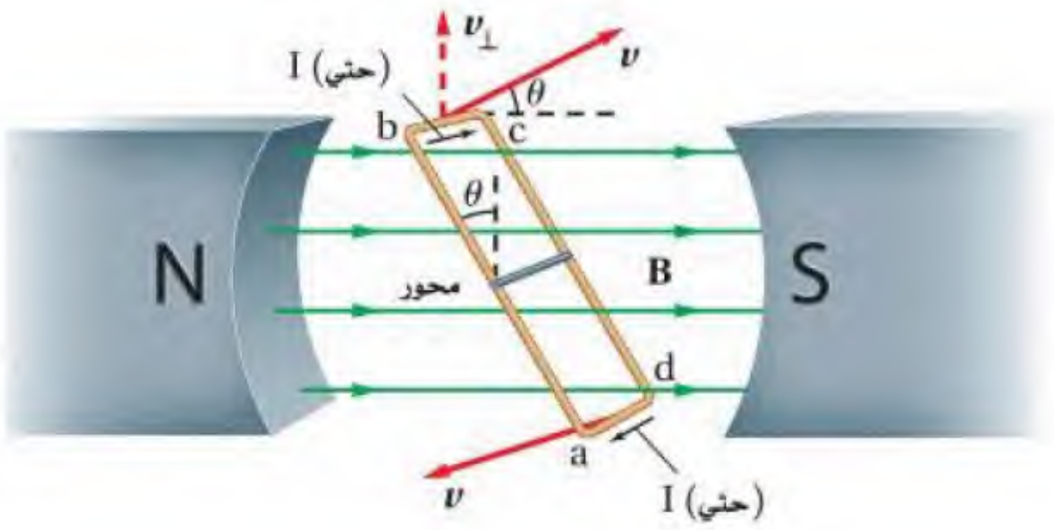
■ **الشكل 6–1** صورة للمقطع العرضي لحلقة سلكية دوّارة تبين موقع الحلقة عندما يتولد أقصى تيار (a). عندما تكون الحلقة في وضع رأسي يكون التيار صفرًا (b). يتغير التيار مع الزمن عند دوران الحلقة (c). ويمكن توضيح تغير EMF مع الزمن برسم بياني مماثل.



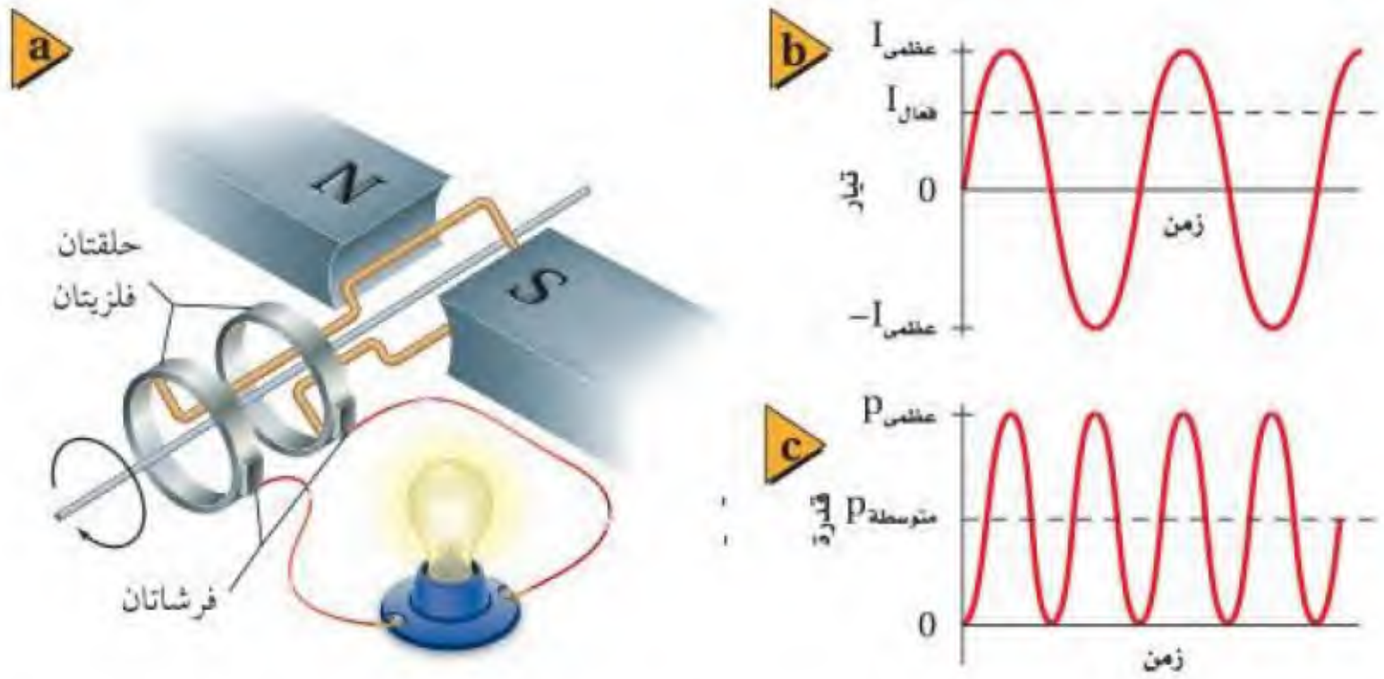
تكون مركّبة سرعة الحلقة العمودية على المجال المغناطيسي أكبر ما يمكن. ومع استمرار دوران الحلقة من الوضع الأفقي إلى الوضع الرأسي، كما هو موضّح في **الشكل 6b–1**، تزداد الزاوية التي تصنعها مع خطوط المجال المغناطيسي، فتقطع عددًا أقل من خطوط المجال المغناطيسي لكل وحدة زمن، لذا يقل التيار الكهربائي المتولد. وعندما تصبح الحلقة في وضع رأسي تتحرك قطع السلك بصورة موازية لخطوط المجال، مما يؤدي إلى تناقص التيار الكهربائي المتولد حتى يصبح صفرًا. ومع استمرار دوران الحلقة فإن الجزء الذي كان يتحرك إلى أعلى سيتحرك إلى أسفل، فينعكس اتجاه التيار المتولد في الحلقة، وهذا التغير في الاتجاه يحدث كلما دارت الحلقة بزاوية مقدارها 180°، أي كلما أكملت نصف دورة. ويتغير التيار باستمرار على نحو سلس من صفر إلى قيمة عظمى كل نصف دورة، ثم ينعكس اتجاهه. ويوضّح **الشكل 6c–1** منحنى العلاقة بين التيار والزمن.

هل تسهم الحلقة كاملة في توليد قوة دافعة كهربائية حثية؟ انظر **الشكل 7–1**، حيث الجوانب الأربعة للحلقة موجودة داخل المجال المغناطيسي. يتولد تيار حثي في الضلعين ad وbc، في حين لا يتولد تيار في الضلعين ab و cd. ويمكن تفسير ذلك بتطبيق القاعدة الرابعة لليد اليمنى على الأضلاع الأربعة كما يلي: يكون اتجاه التيار الحثي في الضلعين ab وcd في اتجاه نصف قطر كل منهما، أي عموديًّا على طوليهما، لذا لا يكون هناك تيار في اتجاه طوليهما، لكن يتولد تيار حثي في كل من ad وbc في اتجاه طوليهما، أي من b إلى c، ومن d إلى a، وهذا يجعل التيار الحثي يسري في الدائرة.

ولأن الحلقة تتحرك حركة دائرية فسوف يتغير مقدار الزاوية النسبية بين أي نقطة على الحلقة والمجال المغناطيسي باستمرار. لذلك تستخدم العلاقة $EMF=BL\nu(\sin\theta)$ لحساب القوة الدافعة الكهربائية؛ حيث تمثل L طول الضلع (bc)، فيكون أقصى جهد (EMF العظمى) عندما يتحرك الموصل عموديًّا على المجال المغناطيسي، أي تكون $\theta = 90°$.



الشكل 7–1 القطعتان ad وbc هما فقط القطعتان اللتان يتولد فيهما تيار حثي يسري خلالهما. ويمكن ملاحظة ذلك باستخدام القاعدة الرابعة لليد اليمنى.



■ **الشكل 8–1** ينقل مولد التيار المتناوب التيار إلى دائرة خارجية عن طريق فرشاتين تلامسان الحلقتين (**a**). التيار المتناوب الناتج يتغير مع الزمن (**b**)، تكون القدرة الناتجة دائمًا موجبة، كما تكون أيضًا دالة جيبية (**c**).

تعمل المولدات الكهربائية بطريقة مشـــابهة؛ حيث تُحوَّل طاقة وضع الماء المحجوز خلف الســـد إلى طاقة حركية تعمل على إدارة التوربينات، التي تعمل بدورها على تدوير الملفات السلكية داخل مجال مغناطيسي، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية.

مولدات التيار المتناوب Alternating–Current Generators

يعمل مصـــدر الطاقة على تدوير ملف المولـــد داخل المجال المغناطيـــسي بعدد ثابت من الدورات في الثانية. ومعظـــم الأدوات والأجهزة الكهربائية في الدول العربية تعمل بتيار تردده 60 Hz، حيث ينعكس اتجاه التيار 60 مرة في الثانية الواحدة. ويبين **الشـــكل 8a–1** كيـــف ينتقل التيار المتناوب AC في الملف إلى بقية أجزاء الدائرة. ويســـمح ترتيب مجموعة الفرشاتين والحلقتين الفلزيتين الزلقتين للملف بالدوران بحرية، مع الاستمرار في السماح بمرور التيار الكهربائي إلى الدائـــرة الخارجية. ويتغير هذا التيار المتناوب بين صفر وقيمة عظمى في أثناء دوران ملف المولد، كما هو موضّح في **الشكل 8b–1**.

متوسط القدرة القدرة الناتجة عن مولد كهربائي تساوي حاصل ضرب التيار الكهربائي في الجهـــد. ولأن كلًّا مـــن التيار والجهد متغير فســـتكون القدرة المرافقـــة للتيار المتناوب

الشـكل 9–1 الاكتشافات التي أسهمت في تطور الكهرومغناطيسية.



في سنة **1784** وضع كولوم -والذي سميت باسمه وحدة كمية الكهرباء- قانون كولوم من خلال تجربته الشهيرة.

1800 | 1780 | 1760 | 1740



عمل وليام واتســـون تجربته باســـتخدام قارورة ليدن ســـنة **1747** اكتشـــف أن تفريـــغ الكهرباء الســـاكنة يعـــادل التيار الكهربائي. واستخدمها فرانكلين لتخزين الشحنة.

في القـرن السادس قبـل الميـلاد، لاحظ الإغريـــق القدماء آثـــار جـــذب للمســـطرة المدلوكة (الكهرمان).

متغيرة أيضًا. يوضّح **الشـــكل 8c–1** التمثيل البياني للقدرة الناتجة عن مولد تيار متناوب AC. لاحظ أن القدرة تكون دائمًا موجبة؛ لأن I و V يكونان إما موجبين أو ســالبين معًا. و**متوسط القدرة** P_{AC} يمثل نصف القدرة العظمى، لذا فإن:

$$P_{AC}=\frac{1}{2}P_{AC\,\text{عظمى}}$$

التيـار الفعّـال والجهد الفعّال يوصف التيار المتنــاوب والجهد المتناوب غالبًا بدلالة التيار الفعّال والجهد الفعّال، بدلاً من الإشــارة إلى القيــم العظمى لهما. ولعلك تذكر ممّا تعلمته ســابقًا أن $P=I^2R$. لذلك يمكنك التعبير عن التيار الفعّال $I_{\text{فعال}}$ بدلالة متوسط القدرة P_{AC} كــما يأتي: $P_{AC}=I^2_{\text{فعال}}R$. ولإيجاد التيار الفعّال $I_{\text{فعال}}$ بدلالة القيمة العظمى للتيار $I_{\text{عظمى}}$، ابدأ بعلاقة القدرة $P_{AC}=\frac{1}{2}P_{AC\,\text{عظمى}}$، ثمّ عوّض في I^2R، وحل المعادلة لإيجاد $I_{\text{عظمى}}$.

التيار الفعّال $I_{\text{فعال}}=\frac{\sqrt{2}}{2}I_{\text{عظمى}}$

التيار الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للتيار.

وبالطريقة نفسها يمكن استعمال المعادلة الآتية للتعبير عن الجهد الفعّال:

الجهد الفعّال $V_{\text{فعال}}=(\frac{\sqrt{2}}{2})V_{\text{عظمى}}=0.707\,V_{\text{عظمى}}$

الجهد الفعّال يساوي $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مضروبًا في القيمة العظمى للجهد.

ويشار أيضًا إلى الجهد الفعّال بمتوســط الجذر التربيعي للجهد RMS. والجهد الذي يتم تزويــد المنازل به قد يكون جهدًا مزدوجًا؛ إذ تــزود بعض المقابس بجهد مقداره 120 V، وتزود مقابس أخرى بجهد مقداره 220 V. وتمثل هذه المقادير الجهد الفعّال، وليس القيمة العظمى للجهد. وقد يختلف كل من التردد والجهد الفعّال المستخدم من بلد إلى آخر.



مسائل تدريبية

5. مولد تيار متناوب يولّد جهدًا ذا قيمة عظمى مقدارها 170 V، أجب عما يلي:
   a. ما مقدار الجهد الفعّال؟
   b. إذا وصل مصباح قدرته 60 W بمولد، وكانت القيمة العظمى للتيار 0.70 A فما مقدار التيار الفعّال في المصباح؟
6. إذا كانت القيمة الفعّالة للجهد المتناوب في مقبس منزلي 117 V فما مقدار القيمة العظمى للجهد خلال مصباح موصول مع هذا المقبس؟ وإذا كانت قيمة التيار الفعّال المار في المصباح 5.5 A فما مقدار القيمة العظمى للتيار المار في المصباح؟
7. مولد تيار متناوب يولد جهدًا قيمته العظمى 425 V.
   a. ما مقدار الجهد الفعال في دائرة كهربائية موصولة مع المولد؟
   b. إذا كانت مقاومة الدائرة الكهربائية $5.0\times10^{2}\ \Omega$ فما مقدار التيار الفعال؟
8. إذا كان متوسط القدرة المستنفدة في مصباح كهربائي 75 W فما مقدار القيمة العظمى للقدرة؟

عرفت في هذا البند كيف يمكن لأسلاك متحركة داخل مجالات مغناطيسية أن تحث وتولد تيارًا كهربائيًّا خلال الأسلاك. ولكن كما اكتشف فاراداي، فإنه يمكن توليد تيار حثي يسري في موصل بواسطة تغير المجال المغناطيسي حول الموصل. في البند التالي تستكشف تغير المجالات المغناطيسية، وتطبيقات على الحث بواسطة تغيير المجالات المغناطيسية. يبين **الشكل 9–1** في الصفحتين السابقتين خطًّا زمنيًّا يظهر بعض الاكتشافات العلمية التي سبقت فاراداي والتي بنى عليها علمه.

1–1 مراجعة

9. **المولد الكهربائي** هل يمكنك عمل مولد كهربائي بوضع مغناطيس دائم على محور قابل للدوران مع الإبقاء على الملف ساكنًا؟ وضّح إجابتك.
10. **مولد الدراجة الهوائية** يعمل مولد الكهرباء في الدراجة الهوائية على إضاءة المصباح. ما مصدر طاقة المصباح عندما يقود راكب دراجته على طريق أفقية مستوية؟
11. **الميكروفون** ارجع إلى الميكروفون الموضّح في **الشكل 4–1**. ما اتجاه التيار في الملف عندما يُدفع الغشاء الرقيق إلى الداخل؟
12. **التردد** ما التغيرات اللازم إجراؤها على مولد كهربائي لزيادة التردد؟
13. **الجهد الناتج** وضّح لماذا يزداد الجهد الناتج عن مولّد عند زيادة المجال المغناطيسي؟ وما الذي يتأثر أيضًا بزيادة مقدار المجال المغناطيسي؟
14. **المولد الكهربائي** وضّح مبدأ العمل الأساسي للمولد الكهربائي.
15. **التفكير الناقد** تساءل طالب: لماذا يستهلك التيار المتناوب قدرة، ما دامت الطاقة التي تُحوّل في المصباح عندما يكون التيار موجبًا تلغى عندما يكون التيار سالبًا، ويكون الناتج صفرًا؟ وضح لماذا يكون هذا الاستدلال غير صحيح؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية
Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

يتولد تيار في مولد عندما يدور الملف داخل مجال مغناطيسي. ونتيجة لتوليد التيار في الملف تؤثر قوة في أسلاكه. فما اتجاه القوة المؤثرة في الأسلاك المكونة للملف؟

قانون لنز Lenz's Law

تخيل جزءًا من سلك أحد الحلقات يتحرك عموديًّا على مجال مغناطيسي، كما هو موضح في **الشكل 10a–1**. سيتولد في السلك تيار كهربائي حثي. وإذا كان المجال المغناطيسي خارجًا من الصفحة واتجاه السرعة نحو اليمين فسيكون اتجاه التيار الكهربائي الحثي المتولد إلى أسفل؛ وذلك وفقًا للقاعدة الرابعة لليد اليمنى، كما هو موّضح في **الشكل 10b–1**. تعلمت أن السلك الذي يسري فيه تيار والموضوع داخل مجال مغناطيسي سيتأثر بقوة، وهذه القوة تكون ناتجة عن التفاعل بين المجال المغناطيسي الموجود والمجال المغناطيسي المتولد حول التيارات الكهربائية جميعها. ولتحديد اتجاه هذه القوة نستخدم القاعدة الثالثة لليد اليمنى. فإذا كان التيار I متجهًا إلى أسفل، والمجال المغناطيسي B متجهًا إلى الخارج فعندئذ تكون القوة الناتجة في اتجاه اليسار، كما هو موضّح في **الشكل 10c–1**، وهذا يعني أن اتجاه القوة المؤثرة في السلك سيكون معاكسًا لاتجاه حركة السلك الأصلية v، ولذلك تعمل هذه القوة على إبطاء دوران ملف المولد. ولقد ظهرت أول طريقة لتحديد اتجاه هذه القوة في عام 1834م عن طريق العالم لنز، ولذا سميت قانون لنز.

ينص **قانون لنز** على أن المجال المغناطيسي الناشئ عن التيار الحثي يعاكس التغيّر في المجال المغناطيسي الذي سببه. لاحظ أن التأثيرات المغناطيسية الحثية تُعاكس التغيرات في المجال، وليس المجال نفسه.

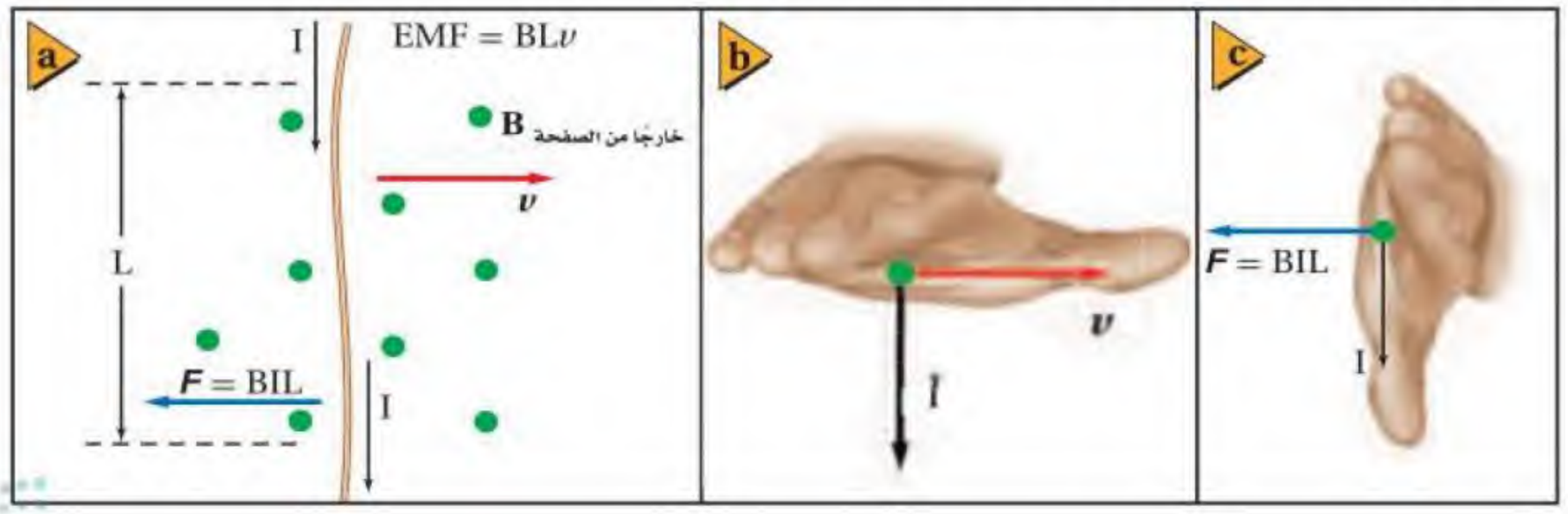
الأهداف

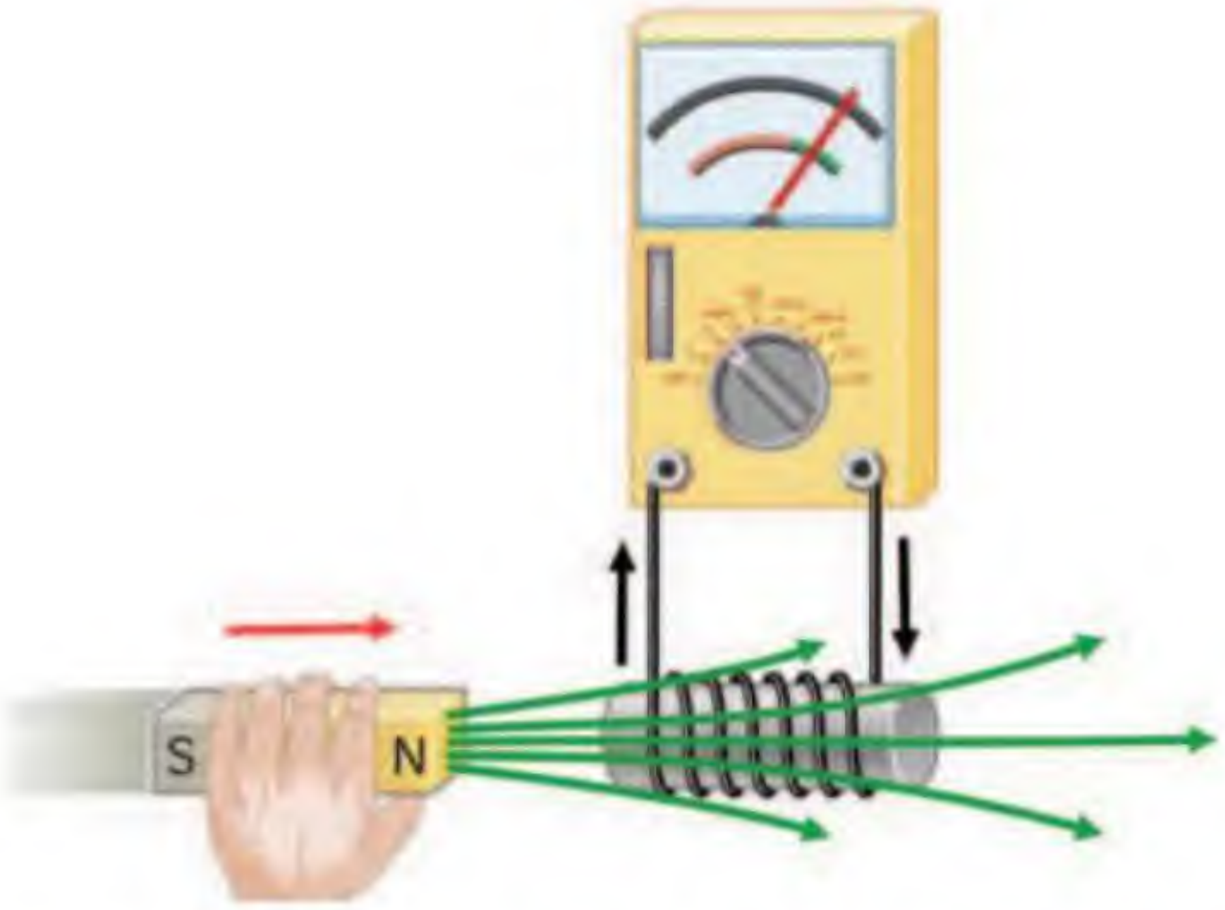
- **تطبق** قانون لنز.
- **توضح** القوة الدافعة الكهربائية العكسية، وكيف تؤثر في عمل المولدات والمحركات.
- **توضح** الحث الذاتي وتأثيره في الدوائر الكهربائية.
- **تحل** مسائل متعلقة بالمحولات، تتضمن الجهد والتيار ونسب عدد اللفات.

المفردات

قانون لنز
التيار الدوامي
الحث الذاتي
المحول الكهربائي
الملف الابتدائي
الملف الثانوي
الحث المتبادل
المحول الرافع
المحول الخافض

الشكل 10–1 عند تحريك سلك طوله L في مجال مغناطيسي B تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية، وإذا كان السلك جزءا من دائرة فسيتولد فيه تيار حثي مقداره I. وهذا التيار يتفاعل مع المجال المغناطيسي وينتج قوة مقدارها F. لاحظ أن القوة الناتجة تمانع حركة السلك v.





● **الشكل 11–1** يؤدي اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس من الملف إلى مرور تيار حثي في الملف. ويمكن توقع اتجاه هذا التيار المتولد بواسطة قانون لنز.

تطبيق الفيزياء

الطباخ الحثي:
عندما يمر تيار كهربائي متردد AC في ملف لولبي أسفل موقد فلزي، فإن المجال المغناطيسي في الملف اللولبي يتغيّر فينشأ تيار كهربائي حثي يُستخدم في تسخين قدور الطبخ ومحتوياتها.



ممانعة التغير يبين **الشكل 11–1** مثالًا على كيفية تطبيق قانون لنز. حيث قُرّب القطب الشمالي لمغناطيس من الطرف الأيسر لملف. لكي تتولد قوة تُمانع اقتراب القطب الشمالي للمغناطيس يجب أن يصبح الطرف الأيسر للملف قطبًا شماليًّا أيضًا؛ أي أن تخرج خطوط المجال المغناطيسي من الطرف الأيسر للملف. باستخدام القاعدة الثانية لليد اليمنى ستجد أنه إذا كان قانون لنز صحيحًا فإن اتجاه التيار الحثي يجب أن يكون في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة عند النظر إلى الملف من جهة الطرف الذي قُرِّب إليه المغناطيس. وقد دلت التجارب على صحة ذلك. وإذا عُكس المغناطيس بحيث يقترب القطب الجنوبي له إلى الملف فسيمر التيار الحثي في اتجاه حركة عقارب الساعة.

إذا كان التيار الناتج عن المولد الكهربائي صغيرًا فستكون القوة المعاكسة المؤثرة في ملف المولد صغيرة، لذا يدور الملف بسهولة. أما إذا كان التيار الناتج عن المولد كبيرًا فستكون القوة المؤثرة في التيار كبيرة، لذا يكون تدوير الملف أصعب. والمولد الذي يولّد تيارًا كبيرًا ينتج مقدارًا كبيرًا من الطاقة الكهربائية، وللتغلب على قوة الممانعة المؤثرة في الملف يجب تزويده بطاقة ميكانيكية لإنتاج طاقة كهربائية، وهذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة.

المحركات وقانون لنز ينطبق قانون لنز أيضًا على المحركات؛ فعندما يتحرك سلك يسري فيه تيار كهربائي داخل مجال مغناطيسي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية، تسمى القوةَ الدافعة الكهربائية الحثية العكسية، ويكون اتجاهها معاكسًا لاتجاه التيار. وعند لحظة تشغيل المحرك يسري فيه تيار كبير بسبب صغر مقاومته. ومع دوران المحرك، تعمل حركة أسلاك الملف خلال المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية تعاكس التيار، لذا يقل التيار الكلي في المحرك. وإذا أثر في المحرك حمل ميكانيكي -كأن يبذل شغلاً لرفع ثقل- فإن سرعة دوران المحرك تقل. مما يؤدي إلى تقليل القوة الدافعة الكهربائية العكسية، فيسمح ذلك بمرور تيار أكبر خلال ملف المحرك. لاحظ أن هذا يتفق مع قانون حفظ الطاقة؛ فإذا ازداد التيار ازدادت القدرة الواصلة للمحرك، وهذه القدرة يُزوّد بها الحمل على شكل قدرة ميكانيكية. إذا أُوقف الحمل الميكانيكي المحرك فقد يصبح التيار كبيرًا إلى درجة تسخن معها أسلاك المحرك كثيرًا.



■ **الشكل 12–1** تستخدم الموازين الحساسة التيارات الدوامية المخامدة للتحكم في تذبذب مؤشر الميزان (**a**). فعندما تتحرك قطعة الفلز المثبتة في نهاية المؤشر داخل المجال المغناطيسي يتولد فيها تيار كهربائي، يولد بدوره مجالاً مغناطيسيًا يعاكس الحركة المسببة له، لذا تصبح حركة المؤشر متخامدة (**b**).

ونتيجة لتغير التيار المسحوب بتغير سرعة المحرك الكهربائي فإن الهبوط في الجهد في مقاومة أسلاك المحرك يتغير أيضًا. وهذا هو سبب ملاحظتك ضعف إضاءة مصابيح المنزل الموصولة على التوازي مع جهاز كهربائي له محرك كبير- مثل أجهزة التكييف والمنشار الكهربائي - لحظة تشغيلها.

عند قطع التيار الكهربائي عن المحرك بمفتاح الدائرة الكهربائية، أو بنزع قابس المحرك من المقبس في الحائط، يعمل التغير المفاجئ في المجال المغناطيسي على توليد قوة دافعة كهربائية عكسية، وهذه الفولتية العكسية قد تكون كبيرة بدرجة كافية لإحداث شرارة خلال المفتاح الكهربائي أو بين القابس والمقبس.

تطبيق على قانون لنز يستخدم الميزان الحساس - كالمستخدم في المختبر - قانون لنز لإيقاف تذبذبه عند وضع جسم في كفته. وكما هو موضح في **الشكل 12–1** توجد قطعة فلزية متصلة بذراع الميزان موضوعة بين قطبي مغناطيس على شكل حذاء فرس. فعندما يتأرجح ذراع الميزان تتحرك قطعة الفلز داخل المجال المغناطيسي، فتتولد تيارات تسمى **تيارات دوامية** خلال الفلز، فتنتج تلك التيارات مجالاً مغناطيسيًّا يؤثر في عكس الحركة المسببة لها، مما يسبب تباطؤ حركة القطعة الفلزية. وعلى الرغم من أن القوة تعاكس حركة قطعة الفلز في الاتجاهين إلا أنها لا تؤثر إذا كانت القطعة ساكنة، لذلك فإنها لا تعمل على تغيير قراءة الميزان، ويسمى هذا التأثير "التيار الدوامي المخامد". وعادة يتركب قلب المحرك أو المحوّل من صفائح حديدية رقيقة معزول بعضها عن بعض للتقليل من دوران التيارات الدوامية.

■ **الشكل 13–1** يتولد تيار دوامي في الحلقة الفلزية الكاملة بينما لا يتولد في الحلقة المقطوعة.



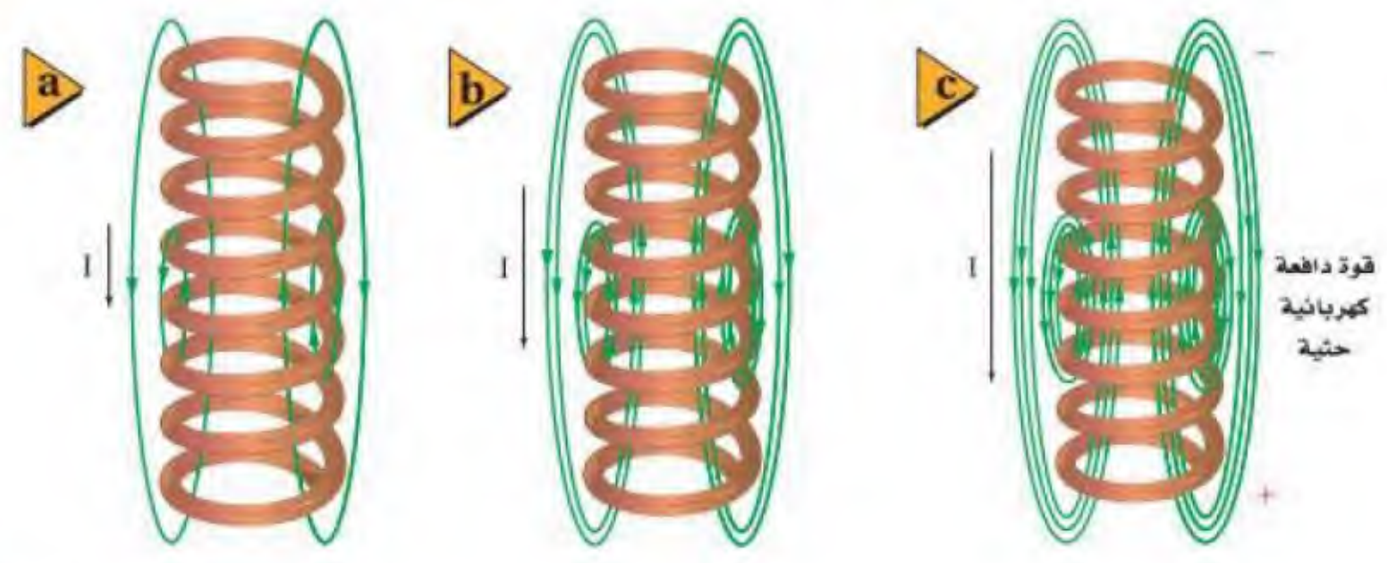
تتولد التيارات الدوامية عندما تتحرك قطعة فلزية داخل مجال مغناطيسي، والعكس صحيح أيضا، حيث تتولد تيارات دوامية إذا وضعت حلقة فلزية داخل مجال مغناطيسي متغير. ووفقًا لقانون لنز فإن التيار المتولد يعاكس التغير في المجال المغناطيسي. فمثلًا، في **الشكل 13–1**، يتولد تيار في حلقة الألومنيوم غير المقطوعة يولد بدوره مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا يجعل الحلقة ترتفع، حيث يمر تيار متناوب في الملف، فيتولد مجال مغناطيسي متغير باستمرار يؤدي بدوره إلى توليد قوة دافعة كهربائية حثية في الحلقتين. فإذا كانت هاتان الحلقتان مكونتين من مواد غير موصلة مثل النايلون فلن تتولد قوة دافعة كهربائية

حثية فيهـــما. أما في الحلقة غير المقطوعة فإن القوة الدافعة الكهربائية الحثية تولد تيارًا ينتج مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا للتغير في المجال المغناطيسي الذي ولّده. وهذا التفاعل بين هذين المجالين يؤدي إلى دفع الحلقة بعيدًا عن الملف؛ تمامًا كما يبتعد القطبان الشماليان لمغناطيسين أحدهما عن الآخر. وأما الحلقة السفلى التي قطعت خطوط المجال المغناطيسي فيتولد فيها قوة دافعة كهربائية، لكن دون أن يتولد تيار؛ لأن مسار التيار غير مكتمل، ولذلك لا تولد هذه الحلقة مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا.

الحث الذاتي Self–Inductance

يمكن توضيح القوة الدافعة الكهربائية العكســـية بطريقة أخرى. فقد بيّن فاراداي أن قوة دافعة كهربائية تتولد عندما يقطع سلك خطوط مجال مغناطيسي. يوضح **الشكل 14–1** أن التيار المار في الســـلك يتزايد ابتداءً من **الشكل 14a–1** حتى **الشكل 14c–1**. حيث يولد التيار مجالاً مغناطيســـيًّا تُظهره خطوط المجال المغناطيـــسي. وبزيادة كل من التيار والمجال المغناطيسي تنشـــأ خطوط مجال جديدة. وبزيادة عدد الخطوط تقطع أسلاك الملف خطوطًا أكثر، وتولد قـوة دافعـة كهربائية عكسية مولدة تيارًا حثيًّا ينشأ عنه مجال مغناطيسي يقاوم تغيرات التيار. وتسمى هذه القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في سلك يسري فيه تيار متغير **الحث الذاتي**.

يتناســـب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية مع المعـــدل الزمني للتغير في عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطعها الأســـلاك. وكلما كان التغـــير في التيار أسرع كانت القوة الدافعة الكهربائية العكسية أكبر. وعندما يكون التيار ثابتًا يصبح المجال المغناطيسي ثابتًا، ويكون مقدار القوة الدافعة الكهربائية العكســـية صفرًا. وإذا قل التيار تتولد قوة دافعـــة كهربائيـــة تعمل على منع ومقاومة النقصان في المجال المغناطيسي والتيار. لذا فإنه بســـبب الحث الذاتي يجب أن يبذل شغل لزيادة مقدار التيار المار في الملف، فتختزن طاقة في المجال المغناطيـــسي. وهذا يشـــبه عملية تخزين الطاقـــة في المجال الكهربائي بـــين لوحي مكثف كهربائي مشحون.



الشكل 14–1 بزيادة التيار في الملف من (a) إلى (c) يزداد المجال المغناطيسي المتولد بواسطة التيار أيضًا. هذه الزيادة في المجال المغناطيسي تولد قوة دافعة كهربائية حثية تعاكس اتجاه التيار.

المحوِّلات الكهربائية Electric Transformers

تستخدم **المحوّلات** لرفع أو خفض الجهد الكهربائي المتناوب AC. واستخدام المحولات شـائع جدًّا؛ لأنها تغير الجهد مع فقد قليل من الطاقة. وتحتوي معظم الأجهزة الكهربائية في المنـزل - ومنها أنظمة الألعاب والطابعات والمسـجلات - على محولات تكون داخل صندوق الجهاز أو خارجه.

كيف تعمل المحولات؟ يولّد الحث الذاتي للملف قوة دافعة كهربائية حثية عندما يتغير التيار المار في ملف. وللمحـول الكهربائي ملفان معزولان كهربائيًّا أحدهما عن الآخر، وملفوفان حول القلب الحديدي نفسـه. ويسـمى أحد الملفين **الملف الابتدائي**، والآخر **الملف الثانوي**. وعند وَصْل الملف الابتدائي بمصدر جهد متناوب، يولّد تغيّر التيار مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا، ويُنقـل هذا التغير عبر القلب الحديدي إلى الملف الثانوي، حيث تتولّد فيه قوة دافعة كهربائية حثية متغيرة بسبب هذا التغير في المجال. ويسمى هذا التأثير **الحث المتبادل**.

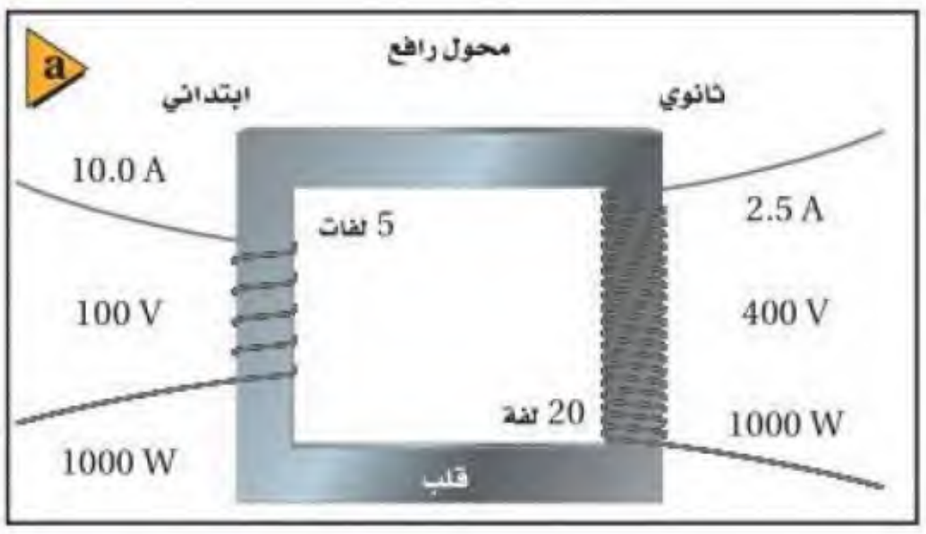
تتناسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف الثانوي - وتسمى الجهدَ الثانوي- مع الجهد الابتدائي. ويعتمد الجهد الثانوي أيضًا على النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي، كما هو موضّح في العلاقة الآتية:

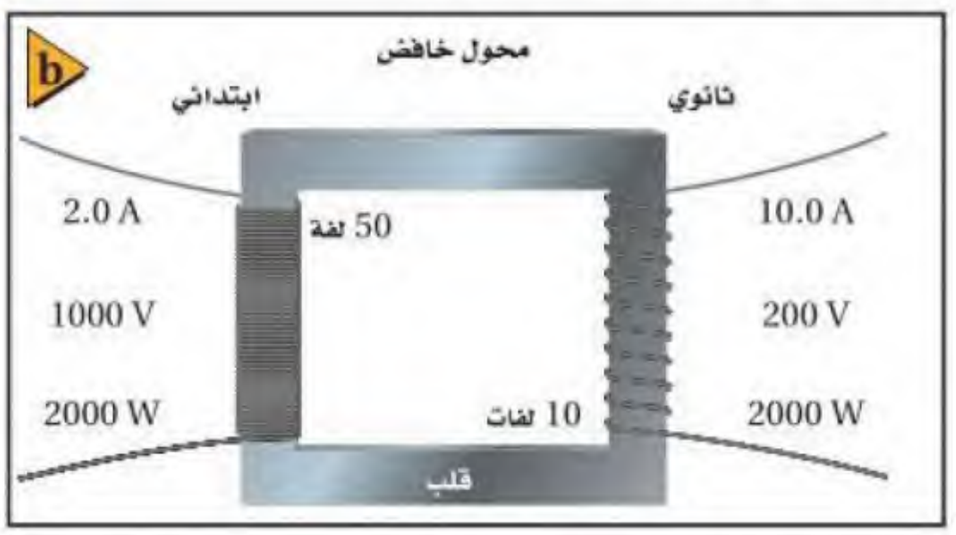
$$\frac{\text{الجهد الثانوي}}{\text{الجهد الابتدائي}} = \frac{\text{عدد لفات الملف الثانوي}}{\text{عدد لفات الملف الابتدائي}}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

إذا كان الجهد الثانوي أكبر من الجهد الابتدائي فإن المحول يسـمّى عندئذ **محولًا رافعًا**، كما هو موضّح في **الشكل 15a–1**. أما إذا كان الجهد الناتج عن المحول أقل من الجهد الداخل إليه سمّي **محولًا خافضًا**، كما هو موضّح في **الشكل 15b–1**.

الشكل 15–1 في المحول، تعتمد النسبة بين الجهد الداخل والجهد الناتج على النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي. ويمكن أن يكون الجهد الناتج أكبر من الجهد الداخل (a)، أو أقل من الجهد الداخل (b).





تجـربة

المحرك والمولد

تختلف المحركات والمولدات بصورة رئيسة في طريقة تحويل الطاقة الكهربائية إلى ميكانيكية مقارنة بتحويل الطاقة الميكانيكية إلى كهربائية.

1. ركّب دائرة توالٍ تحتوي على محرك DC ومصباح كهربائي صغير وأميتر.
2. دوّر المقبض اليدوي للمحرك أو عمود دورانه؛ لإضاءة المصباح الكهربائي.

التحليل والاستنتاج

3. ماذا يحدث عندما تغير سرعة دوران المقبض اليدوي للمحرك؟
4. توقع ماذا يحدث إذا وصلت المحرك بمحرك آخر؟

في المحـــول المثالي تكون القدرة الواصلة إلى الملف الابتدائي مســـاوية للقدرة الخارجة من الملف الثانوي. فالمحول المثالي لا يضيِّع أو يبدد أي جزء من القدرة، ويمكن تمثيله بالمعادلة:

$$P_p = P_s$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

وبترتيب المعادلة للحصول على النسبة V_p / V_s، ستجد أن التيار في الدائرة الابتدائية يعتمد على مقدار التيار المطلوب في الدائرة الثانوية. وعند ربط هذه العلاقة بالمعادلة السابقة التي تربط الجهد بعدد اللفات نحصل على:

معادلة المحول

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

النســـبة بين تيار الملف الثانوي وتيار الملف الابتدائي تســـاوي النسبة بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف الثانوي، وتساوي أيضًا النسبة بين عدد لفات الملف الابتدائي وعدد لفات الملف الثانوي.

تعرفت من قبل أن المحول الرافع يزيد الجهد. ولأن المحول لا يمكنه زيادة القدرة الناتجة، لـــذا يجب أن يكون هناك نقص في التيار المار خلال الملف الثانوي. ويحدث الشيء نفســـه في المحـــول الخافض؛ إذ يكـــون التيار المار في الملف الثانوي أكبر مـــن التيار المار في الملف الابتدائـــي؛ فانخفاض الجهد يقابله زيادة التيار، كما هـــو موضّح في الصفحة المجاورة في الرياضيات في الفيزياء.

يمكن فهم ذلك بطريقة أخرى، وذلك بأن نعتبر أن كفاءة المحول 100%، كما يتم افتراضه عادةً في الصناعة. وبذلك يمكن - في معظم الحالات - افتراض أن القدرة الناتجة تساوي القدرة الداخلة. ويوضّح **الشكل 15–1** مبدأ عمل كلٍّ من المحولات الرافعة والمحولات الخافضة. ويمكن للمحول نفســـه أن يكـــون رافعًا أو خافضًا، وهـــذا يعتمد على طريقة توصيله، كما هو موضّح في **الشكل 16–1**.



■ **الشكل 16–1** إذا وصل الجهد الداخل إلى الملف الذي عن اليسار حيث عدد اللفات أكبر، عَمِلَ المحول بوصفه محولًا خافضًا للجهد، وإذا وصل الجهد الداخل إلى الملف الذي عن اليمين فسيعمل المحول بوصفه محولًا رافعًا للجهد.

◄ الرياضيات في الفيزياء

عدم المساواة ادرس التعابير الآتية لتساعدك على فهم العلاقات بين الجهد والتيار وعدد اللفات في المحول الرافع والمحول الخافض.

المحول الرافع	المحول الخافض
$V_s > V_p$	$V_s < V_p$
$I_s < I_p$	$I_s > I_p$
$N_s > N_p$	$N_s < N_p$

تطبيق الفيزياء

الوحدات الشائعة تقدّر قيم المحولات المثالية عادةً بوحدات (فولت. أمبير) (VA. kilo VA. Mega VA)
وتقنيًا، يمكن التعبير عن الأحمال ذات المقاومة النقية فقط أو قياسها بوحدة الواط، والأحمال التفاعلية بوحدة فولت. أمبير.

مثـــال 2

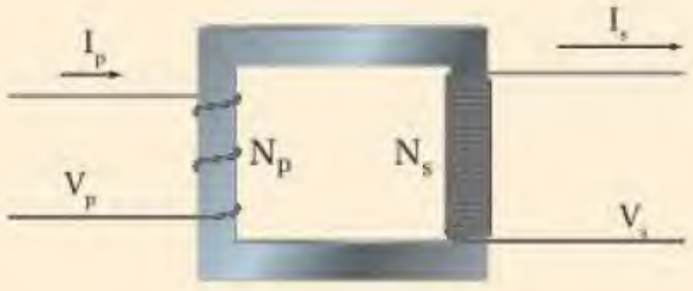
المحولات الرافعة محول رافع عدد لفات ملفه الابتدائي 200 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 3000 لفة. إذا وصل ملفه الابتدائي بجهد متناوب فعّال مقداره 90.0 V فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الجهد في دائرة الملف الثانوي؟

b. إذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قلبًا حديديًا مع لفات من السلك.
- حدّد المتغيرات N و V و I.



المعلوم		المجهول	
$V_p = 90.0\ V$	$N_p = 200$	$V_s = ?$	
$I_s = 2.0\ A$	$N_s = 3000$	$I_p = ?$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. حل بالنسبة لـ V_s.

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_s = \frac{N_s V_p}{N_p}$$

بالتعويض $V_p = 90.0\ V$، $N_S = 3000$، $N_p = 200$

$$= \frac{3000 \times 90.0\ V}{200}$$

$$= 1350\ V$$

b. تكون القدرة الداخلة إلى الملف الابتدائي مساوية للقدرة الخارجة من الملف الثانوي على افتراض أن كفاءة المحول 100 %.

$$P_p = P_s$$

بالتعويض $P_s = V_s I_s$، $P_p = V_p I_p$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$I_p = \frac{V_s I_s}{V_p}$$

$$= \frac{(1350\ V)(2.0\ A)}{(90.0\ V)}$$

$$= 3.0 \times 10^{1}\ A$$

بالتعويض $V_s = 1350\ V$، $I_s = 2.0\ A$، $V_p = 90.0\ V$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن يكون الجهد مقيسًا بوحدة الفولت والتيار بوحدة الأمبير.
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة الكبيرة لعدد اللفات في المحول الرافع ينتج عنه جهد ثانوي كبير؛ ولذلك سيكون التيار في الملف الثانوي قليلاً. وتتفق الإجابات مع هذا.

مسائل تدريبية

في المسائل الآتية التيارات والجهود المشار إليها هي التيارات والجهود الفعّالة.

16. محول مثالي خافض عـدد لفات ملفه الابتدائي 7500 لفـة، وعدد لفات ملفه الثانـوي 125 لفة، فإذا كان الجهد في دائرة الملـف الابتدائي 7.2 kV فما مقدار الجهد في دائـرة الملف الثانوي؟ وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 36 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

17. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي رافع من 300 لفة، ويتكون الملف الثانوي من 90000 لفة، فإذا كانـت القوة الدافعة الكهربائيـة للمولد المتصل بالملف الابتدائـي 60.0 V فما مقدار القوة الدافعـة الكهربائية الحثية الناتجة عن الملف الثانوي؟ وإذا كان التيار في دائرة الملف الثانوي 0.50 A فما مقدار التيار في دائرة الملف الابتدائي؟

مسألة تحفيز

يتصل الملف الابتدائي لمحوّل توزيع T_1 بمصدر جهد متناوب مقداره 3.0 kV، ويتصل الملف الثانوي له بالملف الابتدائي لمحول آخر T_2 باستخدام وصلات نحاسـية، ويتصل الملف الثانوي للمحـول T_2 بدائرة حمل (مقاومة) تستخدم قدرة مقدارها 10.0 kW. فإذا كانت نسبة عدد لفات المحول T_1 هي 1 :5، وكان فرق جهد الحمل للمحول T_2 يساوي 120 V، وكفاءة المحوّلين 100% و97.0% على الترتيب، فأجب عما يلي:

1. احسب تيار الحمل.

2. ما مقدار القدرة المستهلكة في المحوّل T_2؟

3. ما مقدار تيار الملف الثانوي للمحول T_1؟

4. ما مقدار التيار الذي يزوده المصدر المتناوب AC للمحول T_1؟

الاستعمالات اليومية للمحوّلات تكون عملية نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة اقتصاديةً إذا استخدمت تيارات صغيرة وفروق جهد كبيرة جدًّا. ولذلك تُستخدم المحولات الرافعة عند مصادر القدرة للحصول على جهود كهربائية تصل إلى 480000 V، وتقلل هذه الجهود الكبيرة التيارات المستخدمة في نقل الطاقة عبر الأسلاك، مما يقلل من الطاقة الضائعة في مقاوماتها الكهربائية. وعندما تصل الطاقة إلى المستهلك تُستخدم محولات خافضة، كتلك الموضّحة في **الشكل 17–1**؛ لتزوِّده بجهود منخفضة تناسب الأجهزة الكهربائية المنزلية.

تضبط المحولات الموجودة في الأجهزة المنزلية الجهود الكهربائية إلى مستويات قابلة للاستعمال، فإذا أردت شحن لعبة أو تشغيل أداة كهربائية فعليك توصيلها في مخرج الكهرباء المثبت بالجدار، حيث يعمل المحوّل الموجود داخل هذه الأداة على تحويل التيار الكهربائي من تيار متردد إلى تيار مستمر ويقلل الجهد من 220 V إلى جهد يتراوح بين 3.0 V و 26.0 V.

ولا تستخدم المحولات لخفض الجهد ورفعه فقط؛ إذ يمكن استخدام المحولات لعزل دائرة عن أخرى، وهذا ممكن لأن سلك الملف الابتدائي لا يتصل بسلك الملف الثانوي. ويوجد هذا النوع من المحولات غالبًا في الأجهزة الإلكترونية الصغيرة.



الشكل 17–1 تستخدم المحولات الخافضة للتقليل من الجهود الكهربائية الكبيرة في خطوط نقل القدرة إلى مستويات تناسب المستهلكين في أماكن الاستخدام.

2–1 مراجعة

18. **السلك الملفوف والمغانط** ملف سلكي معلق من نهايتيه بحيث يتأرجح بسهولة. إذا قرّبت مغناطيسًا إلى الملف فجأة فسيتأرجح الملف. بأي طريقة يتأرجح الملف بالنسبة إلى المغناطيس؟ ولماذا؟
19. **المحركات** إذا نزعت قابس مكنسة كهربائية في أثناء تشغيلها من المقبس فستلاحظ حدوث شرارة كهربائية، في حين لا تشاهدها عند نزع قابس مصباح كهربائي. لماذا؟
20. **المحوّلات والتيار** وضح لماذا يعمل المحوّل الكهربائي على تيار متناوب فقط؟
21. **المحوّلات** كثيرًا ما يكون السلك المستخدم في ملفات المحوّل المكون من عدد قليل من اللفات سميكًا (مقاومته قليلة)، بينما يكون سلك الملف المكون من عدد كبير من اللفات رفيعًا. لماذا؟
22. **المحولات الرافعة** بالرجوع إلى المحوّل الرافع الموضّح في **الشكل 15a–1**، وضّح ما يحدث لتيار الملف الابتدائي إذا أصبحت دائرة الملف الثانوي دائرة قصر.
23. **التفكير الناقد** هل تصلح المغانط الدائمة لصنع قلب محوّل جيد؟ وضّح إجابتك.

مختبر الفيزياء

الحث والمحوِّلات

المحــوِّل جهاز ليس فيــه أجزاء متحركة، حيث يتركب مــن دائرتين كهربائيتين ترتبطان بواســطة مجال مغناطيسي. ويســتخدم المحوّل لرفع أو خفــض فرق الجهد المتناوب AC، والذي يســمى عادة فولتية. وتوجــد المحوّلات في كل مكان؛ فجميع الأجهزة الإلكترونية في المنزل تحتوي على محوّلات، تعمل غالبًا على خفض الفولتية التي تدخل إليها. إلا أن لأجهزة التلفاز التي تحتوي على أنبوب أشعة مهبطية لتكوين الصور محوّلاتٍ تنتــج فولتية كبيرة؛ إذ تعمل هذه المحوّلات على رفــع الفولتية إلى عشرات الآلاف من الفولتات، مما يؤدي إلى مســارعة الإلكترونات من مؤخرة الأنبوب في اتجاه الشاشــة. ستستخدم في هذه التجربة ملفين مع قلب حديدي قابل للحركة. يسمّى أحد الملفين الملف الابتدائي، والآخر الملف الثانوي. وعند تطبيق جهد متناوب AC على الملف الابتدائي يعمل المجال المغناطيسي المتغير على توليد تيار وجهد كهربائيين حثيين في الملــف الثانوي. ويُعبّر عن هذه الفولتية الحثيــة بالعلاقة: $V_s / V_p = N_s / N_p$؛ حيث ترمز N إلى عدد اللفات في الملف.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين جهدي ملفي المحوّل؟

الأهــداف

- **تصف** كيف يعمل المحوّل الكهربائي.
- **تلاحظ** أثر الفولتية المستمرة DC في المحوّل.
- **تلاحظ** أثر الفولتية المتناوبة AC في المحوّل.

احتياطات السلامة



المواد والأدوات

ملف ثانوي، وملف ابتدائي بأعداد لفات مختلفة
مصدر جهد متناوب AC صغير
فولتمتر خاص بالتيار المتناوب AC
مصدر جهد مستمر DC (0–6 V, 0–5 A)
أسلاك توصيل مزودة بمشابك
مصباح كهربائي صغير متصل بأسلاك

الخطوات

1. قدّر عدد لفات كل من الملفين الابتدائي والثانوي، وذلك عــن طريق عدّ اللفــات في كل 1 cm، ثم ضرب ذلك في طول الملف بالســنتمترات. يتكون الملــف الابتدائي من طبقــة واحدة، أما الملف الثانــوي فيتكون من طبقتين من الأسلاك، لذا عليك مضاعفة عدد لفاته. دوّن نتائجك في جدول البيانات1.
2. صل طرفي التوصيل للمصباح الكهربائي بالملف الثانوي، ثم ضع الملف الثانوي داخل الملــف الابتدائي بعناية، ثم أدخل قلب الحديد داخل الملف الثانوي بعناية.
3. صل ســلكين بمخرج مصدر قدرة DC. وصل الســلك الموجــب لمصدر الجهد بأحــد طرفي التوصيــل في الملف الابتدائــي. والآن شــغل مصدر الجهــد بقيمته العظمى





جدول البيانات 1			
عدد لفات الملف الابتدائي N_p	عدد لفات الملف الثانوي N_s	جهد الملف الابتدائي V_p	جهد الملف الثانوي V_s

جدول البيانات 2	
ملاحظة الخطوة 3	
ملاحظة الخطوة 4	
ملاحظة الخطوة 5	
ملاحظة الخطوة 6	
ملاحظة الخطوة 8	
ملاحظة الخطوة 9	

تقريبًا، ثم أمسك الطرف الحرّ للسلك الموصول بالطرف السالب للمصدر واجعله يلامس الطرف الثاني لسلك الملف الابتدائي. لاحظ المنطقة التي لامست بها السلك بالتوصيلة. دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.

4. راقب المصباح الكهربائي في أثناء ملامسة التوصيلة بلطف. ماذا يحدث عند ملامسة السلك للتوصيلة وعند فصله عنها؟ دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
5. لامس السلك السالب بتوصيلة الملف الابتدائي مدة 5 ثوانٍ وراقب المصباح، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
6. افصل مصدر القدرة DC، وضعه جانبًا مع الإبقاء على المصباح موصولاً بالملف الثانوي، ثم صل مصدر القدرة AC بطرفي التوصيل في الملف الابتدائي، ثم شغّل مصدر القدرة AC وراقب المصباح. ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.
7. اختر تدريج AC للفولتمتر الذي تستخدمه، وأدخل مجسَّيه في نقطتي الفولتمتر، ثم لامس طرفي المجسّين الحرين لطرفي الملف الابتدائي برفق، وقس الجهد المطبق. ثم أبعد المجسين عن الملف الابتدائي، ولامسهما لطرفي الملف الثانوي، وقس الجهد. دوّن قراءتي الفولتمتر في جدول البيانات 1.
8. أعد الخطوة 7 لكن مع سحب القلب الحديدي تدريجيًّا من الملف الثانوي. ماذا يحدث لإضاءة المصباح؟ قس الجهد في الملفين الابتدائي والثانوي عند سحب القلب. دوّن قياساتك في جدول البيانات 2.
9. تحسّس القلب الحديدي بلطف، ماذا تلاحظ؟ دوّن ملاحظاتك في جدول البيانات 2.

التحليل

1. احسب النسبة N_s/N_p من بياناتك المدوّنة في الجدول 1.
2. احسب النسبة V_s/V_p من بياناتك المدوّنة في الجدول 1.
3. **تفسير البيانات** كيف تقارن بين N_s/N_p و V_s/V_p؟
4. **تعرّف السبب والنتيجة** استنادًا إلى البيانات الخاصة بالخطوة 7 هل هذا المحول رافع أم خافض؟ ما دليلك على ذلك؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** كيف تفسر ملاحظاتك على المصباح في الخطوة 4؟
2. **استنتج** كيف تفسر الظاهرة التي لاحظتها على التوصيل السالب للملف الابتدائي في الخطوة 3؟
3. **استنتج** كيف تفسر ملاحظاتك حول جهدي الملفين الابتدائي والثانوي عند سحب القلب الحديدي في الخطوة 8؟
4. **فسر** درجة حرارة القلب الحديدي التي لاحظتها في الخطوة 9.

التوسع في البحث

لماذا يعمل المحوّل بتيار متناوب فقط، ولا يعمل بتيار مستمر؟

الفيزياء في الحياة

ناقش استخدام المحوّلات في المساعدة على نقل الكهرباء من محطات توليد الكهرباء إلى منزلك.

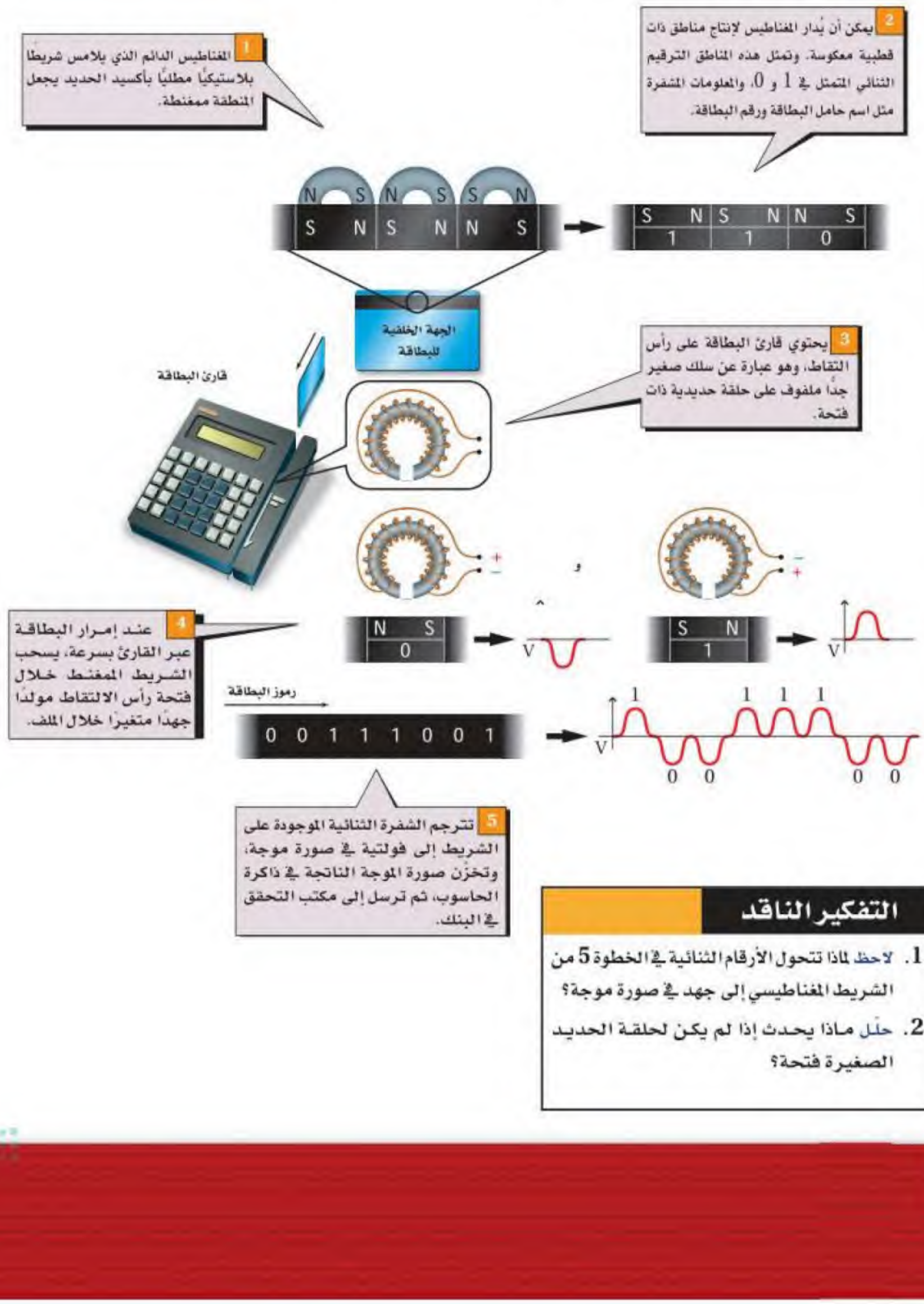
كيف يعمل

How it Works

قارئ بطاقات الائتمان؟

How a Credit - Card Reader Works?

أحدثت بطاقات الائتمان ثورة اقتصادية في العالم عن طريق جعل عملية تحويل النقود سريعة وسهلة. يعدّ قارئ بطاقات الائتمان – الذي يأخذ البيانات من شريط مغناطيسي موجود على ظهر البطاقة – من أهم الروابط في العملية الإلكترونية لتحويل النقود.



التفكير الناقد

1. لاحظ لماذا تتحول الأرقام الثنائية في الخطوة 5 من الشريط المغناطيسي إلى جهد في صورة موجة؟
2. حلّل ماذا يحدث إذا لم يكن لحلقة الحديد الصغيرة فتحة؟

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1–1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية
Electric Current from Changing Magnetic Fields

المفردات

- التيار الكهربائي الحثي
- الحث الكهرومغناطيسي
- القاعدة الرابعة لليد اليمنى
- القوة الدافعة الكهربائية الحثية
- المولد الكهربائي
- متوسط القدرة

المفاهيم الرئيسة

- اكتشف مايكل فاراداي أنه إذا تحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فسوف يسري فيه تيار كهربائي.
- يعتمد التيار المتولد على الزاوية المحصورة بين متجه سرعة السلك واتجاه المجال المغناطيسي، وتكون أكبر قيمة للتيار عندما يتحرك السلك عموديًا على المجال.
- القوة الدافعة الكهربائية EMF هي فرق الجهد الناتج بين طرفي السلك المتحرك، وتقاس بوحدة الفولت.
- القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في سلك مستقيم يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم تساوي حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي B، في كل من طول السلك L والمركبة العمودية لسرعة السلك على المجال، $v (\sin \theta)$.

$$EMF = BLv \sin \theta$$

- يمكن استعمال التيار والجهد الفعّالين لوصف التيار المتناوب والجهد المتناوب.

$$V_{\text{فعّال}} = 0.707\ V_{\text{عظمى}}$$

$$I_{\text{فعّال}} = 0.707\ I_{\text{عظمى}}$$

- المولد الكهربائي والمحرك الكهربائي جهازان متشابهان؛ إذ يحول المولد الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، في حين يحول المحرك الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

1–2 تغيُّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية
Changing Magnetic Fields Induce *EMF*

المفردات

- قانون لنز
- التيار الدوامي
- الحث الذاتي
- المحوّل الكهربائي
- الملف الابتدائي
- الملف الثانوي
- الحث المتبادل
- المحول الرافع
- المحول الخافض

المفاهيم الرئيسة

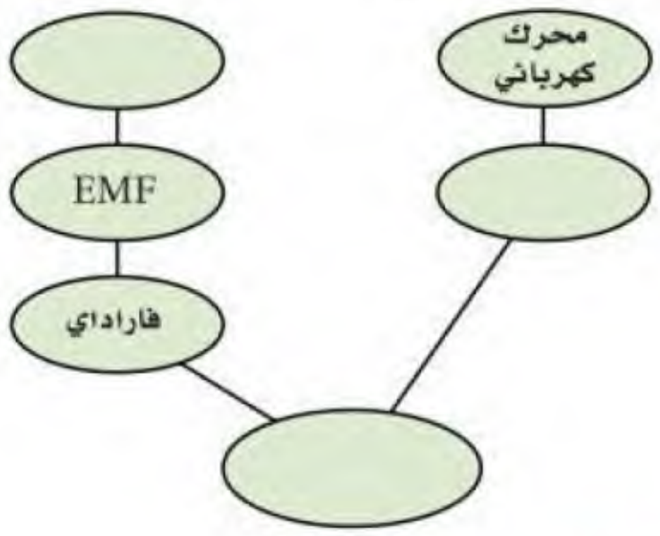
- ينص قانون لنز على أن اتجاه التيار الحثي يكون بحيث إن المجال المغناطيسي الناشئ عنه يعاكس التغير في المجال المغناطيسي الذي سبّبه.
- تتولد قوة دافعة كهربائية عكسية بتحريك سلك يسري فيه تيار داخل مجال مغناطيسي، وتكون معاكسة للتيار.
- الحث الذاتي خاصية للسلك الذي يسري فيه تيار متغير، وكلما كان تغير التيار في السلك أسرع زادت القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية التي تقاوم هذا التغير.
- يحتوي المحول على ملفين ملفوفين على القلب نفسه. يولد مرور التيار المتناوب AC في الملف الابتدائي قوة دافعة كهربائية متناوبة EMF في الملف الثانوي. والجهود الناتجة عن دوائر التيار المتناوب قد تزداد أو تقل بواسطة المحوّلات.

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

الفصل 1 التقويم

خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: المولد الكهربائـي، القوة الدافعة الكهربائية العكسية، قانون لنز.



إتقان المفاهيم

25. ما الجزء المتحرك في المولد الكهربائي؟ (1-1)

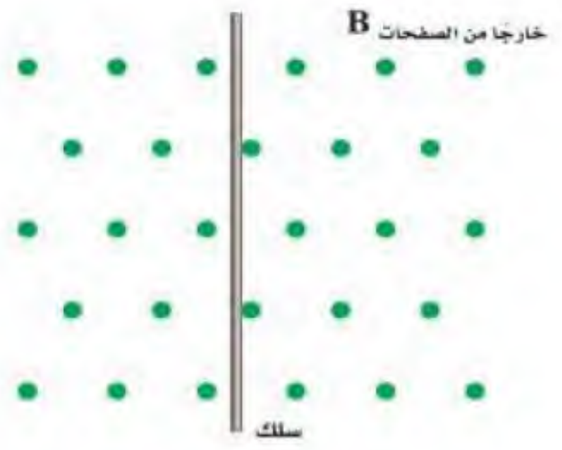
26. لماذا يستخدم الحديد قلبًا للملف؟ (1-1)

*للإجابة عن الأسئلة **29–27** ارجع إلى الشكل **18–1**.*

27. يتحرك موصـل داخل مجال مغناطيـسي ويتولد جهد كهربائي بين طرفيه. في أي اتجاه يجب أن يتحرك الموصل بالنسبة إلى المجال المغناطيسي دون أن يتولد جهد؟ (1-1)

28. مـا قطبية الجهـد الحثـي المتولد في ملـف لولبي عند تقريـب القطب الجنـوبي لمغناطيس؟ (1-1)

29. ما أثر زيـادة الطول الكلي للموصـل داخل مولد كهربائي؟ (1-1)



الشكل 18–1

30. فيم تتشـابه نتائج كل من أورستد وفاراداي؟ وفيم تختلف؟ (1-1)

31. لديك ملف سلكي وقضيب مغناطيسي. صف كيف يمكنك استخدامهما في توليد تيار كهربائي؟ (1-1)

32. ما الـذي ترمز إليـه *EMF*؟ وما سـبب عدم دقة الاسم؟ (1-1)

33. ما الفرق بين المولد الكهربائي والمحرك الكهربائي؟ (1-1)

34. اكتب الأجزاء الرئيسـة لمولد التيـار المتناوب AC. (1-1)

35. لماذا تكـون القيمة الفعالة للتيـار المتناوب أقل من القيمة العظمى له؟ (1-1)

36. **الكهرومائية** يدير الماء الذي كان محجوزًا خلف السد التوربينات التي تدوّر المولدات. أعدّ قائمة بجميع أشكال الطاقة وتحولاتها منذ كان الماء محجوزا إلى أن تولدت الكهرباء. (1-1)

37. اكتب نص قانون لنز. (2-1)

38. ما الذي يسـبب تولد القـوة الدافعـة الكهربائية العكسية في المحرك الكهربائي؟ (2-1)

39. لماذا لا تحدث شرارة كهربائيـة عندما تغلق مفتاحًا كهربائيًّا لتمرير تيار إلى محث، في حين تحدث الشرارة عند فتح ذلك المفتاح؟ (2-1)

40. لماذا يكون الحث الذاتي في ملف عاملاً رئيسًا عندما يمر فيه تيار متناوب AC في حين يكون عاملاً ثانويًّا عندما يمر فيه تيار مستمر DC؟ (2-1)

41. وضح لماذا تظهر كلمة "تغير" في هذا الفصل بكثرة؟ (2-1)

42. عـلام تعتمـد النسبة بيـن القـوة الـدافعة الكهربائيـة في كل مـن دائرتي الملفـين الابتدائي والثانوي للمحول نفسه ؟ (2-1)

تقويم الفصل 1

تطبيق المفاهيم

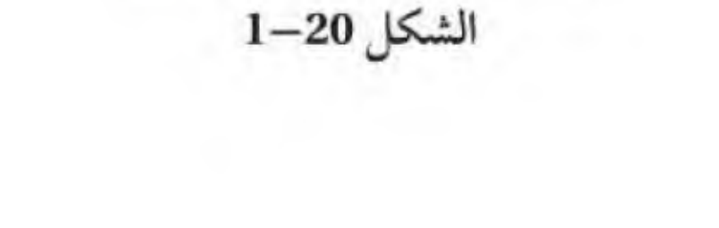
43. استخدم الوحدات لإثبات أن الفولت هو وحدة قياس للمقدار $BL\nu$.

44. عندما يتحرك سلك داخل مجال مغناطيسي فهل تؤثر مقاومة الدائرة المغلقة في التيار فقط، أم في القوة الدافعة الكهربائية فقط، أم في كليهما، أم لا يتأثر أي منهما؟

45. **الدراجة الهوائية** عندما يُبطئ أحمد من سرعة دراجته الهوائية ماذا يحدث للقوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن مولد دراجته؟ استخدم مصطلح *(الملف ذو القلب الحديدي)* خلال التوضيح.

46. يتغير اتجاه الجهد المتناوب (AC) 120 مرة في كل ثانية، فهل يعني ذلك أن الجهاز الموصول بجهد متناوب AC يفقد الطاقة ويكتسبها بالتناوب؟

47. يتحرك سلك بصورة أفقية بين قطبي مغناطيس، كما هو موضح في **الشكل 19–1**. ما اتجاه التيار الحثي فيه؟



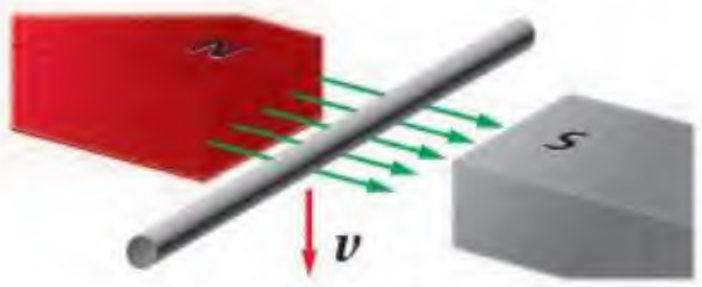
الشكل 19–1

48. عملت مغناطيسًا كهربائيًا بلف سلك حول مسمار طويل، كما هو موضح في **الشكل 20–1**، ثم وصلته مع بطارية، فهل يكون التيار أكبر بعد التوصيل مباشرة، أم بعد التوصيل بعدة أعشار من الثانية، أم يبقى التيار نفسه دائمًا؟ وضح إجابتك.



الشكل 20–1

49. تتحرك قطعة من حلقة سلكية إلى أسفل بين قطبي مغناطيس، كما هو موضح في **الشكل 21–1**. ما اتجاه التيار الحثي المتولد؟



الشكل 21–1

50. وصل محول مع بطارية بواسطة مفتاح كهربائي، ووصلت دائرة الملف الثانوي مع مصباح كهربائي، كما في **الشكل 22–1**. هل يضيء المصباح ما دام المفتاح مغلقًا، أم عند لحظة الإغلاق فقط، أم عند لحظة فتح المفتاح فقط؟ وضح إجابتك.



الشكل 22–1

51. **المجال المغناطيسي الأرضي** اتجاه المجال المغناطيس الأرضي في النصف الشمالي في اتجاه الأسفل ونحو الشمال، كما هو موضح في **الشكل 23–1**. إذا تحرك سلك أفقي (يمتد من الشرق إلى الغرب) من الشمال إلى الجنوب فما اتجاه التيار المتولد؟



الشكل 23–1

تقويم الفصل 1

52. إذا حركت سلكًا نحاسيًّا إلى أسفل خلال مجال مغناطيسي B كما في **الشكل 21-1** فأجب عما يلي:

a. هل يسري التيار الحثي المتولد في قطعة السلك إلى اليسار أم إلى اليمين؟

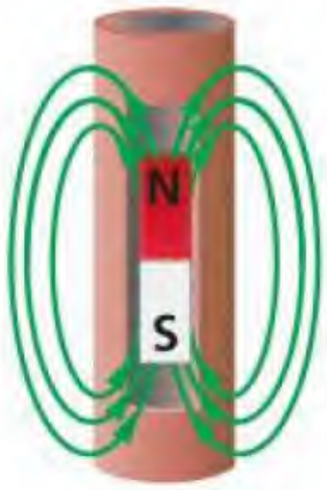
b. عندما يتحرك السلك داخل المجال المغناطيسي سيسري فيه تيار، وعندها تكون القطعة عبارة عن سلك يسري فيه تيار كهربائي وموضوع داخل مجال مغناطيسي، ويجب أن تؤثر فيه قوة مغناطيسية. ما اتجاه القوة التي ستؤثر في السلك نتيجة سريان التيار الحثي؟

53. أسقط مدرس الفيزياء مغناطيسا قويا في أنبوب نحاسي، كما في **الشكل 24-1**، فتحرك المغناطيس ببطء شديد، فاعتقد الطلبة في الصف أنه يجب أن تكون هناك قوة معاكسة لقوة الجاذبية.

a. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الأنبوب بسبب سقوط المغناطيس إذا كان القطب الجنوبي للمغناطيس هو القطب المتجه إلى أسفل؟

b. يُنتج التيار الحثي مجالاً مغناطيسيًّا. ما اتجاه هذا المجال؟

c. كيف يعمل المجال المغناطيسي على تقليل تسارع المغناطيس الساقط؟



الشكل 24-1

54. **المولدات** لماذا يكون دوران المولد أكثر صعوبة عندما يكون متصلًا بدائرة كهربائية يُزوِّدها بالتيار، مقارنة بدورانه عندما لا يكون متصلاً بدائرة ما؟

55. وضح لماذا يكون التيار الابتدائي عند تشغيل المحرك كبيرًا. وضح أيضًا كيف يمكن تطبيق قانون لنز عند اللحظة $t > 0$؟

56. بالرجوع إلى **الشكل 12-1** وبالربط مع قانون لنز، وضح لماذا يتكون قلب المحول الكهربائي من شرائح معزولة؟

57. يصنع محول كهربائي عملي بحيث يحتوي قلبه على شرائح ليست فائقة التوصيل. ولأنه لا يمكن التخلص من التيارات الدوامية نهائيًّا فإنه يكون هناك فقد قليل للقدرة في قلب المحول. وهذا يعني وجود فقد مستمر للقدرة في قلب المحول. ما القانون الأساسي الذي يكون من المستحيل معه جعل الطاقة المفقودة صفرًا؟

58. اشرح كيفية حدوث الحث المتبادل في المحول؟

59. أسقط طالب قضيبًا مغناطيسيًّا بحيث كان قطبه الشمالي إلى أسفل في أنبوب نحاسي رأسي.

a. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الأنبوب النحاسي في أثناء مرور قطبه الجنوبي؟

b. ينتج التيار الحثي المتولد مجالاً مغناطيسيًّا. ما اتجاه هذا المجال؟

إتقان حل المسائل

1-1 التيار الكهربائي الناتج عن تغير المجالات المغناطيسية

60. يتحرك سلك طوله 20.0 m بسرعة 4.0 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي. فإذا تولدت قوة دافعة كهربائية حثية خلاله مقدارها 40 V فما مقدار المجال المغناطيسي؟

61. **الطائرات** تطير طائرة بسرعة 9.50×10^2 km/h وتمر فوق منطقة مقدار المجال المغناطيسي الأرضي فيها 4.5×10^{-5} T، والمجال المغناطيسي في تلك

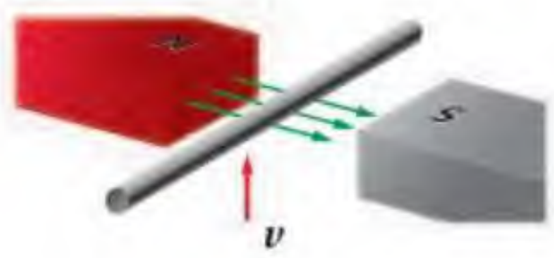
تقويم الفصل 1

المنطقة رأسي تقريبًا. احسب مقدار فرق الجهد بين طرفي جناحيها إذا كانت المسافة بينهما 75 m.

62. يتحرك سلك مستقيم طوله 0.75 m إلى أعلى بسرعة 16 m /s في مجال مغناطيسي أفقي مقداره 0.30 T، كما هو موضّح في **الشكل 25–1**.

a. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان السلك جزءًا من دائرة كهربائية مقاومتها 11 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟



الشكل 25–1

63. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها سلك طوله 0.20 m داخل مجال مغناطيسي مقداره 2.5 T؛ لكي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية *EMF* مقدارها 10 V؟

64. مولد كهربائي AC يولد قوة دافعة كهربائية عظمى مقدارها 565 V. ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الفعالة التي يزود بها المولد دائرة خارجية؟

65. مولد كهربائي AC يولد فولتية عظمى مقدارها 150 V، ويزود دائرة خارجية بتيار قيمته العظمى 30.0 A، احسب:

a. الجهد الفعّال للمولد.

b. التيار الفعّال الذي يزود به المولد الدائرة الخارجية.

c. القدرة الفعّالة المستهلكة في الدائرة.

66. **الفرن الكهربائي** يتصل فرن كهربائي بمصدر تيار متناوب AC جهده الفعّال 240 V.

a. احسب القيمة العظمى للجهد خلال أحد أجزاء الفرن عند تشغيله.

b. إذا كانت مقاومة عنصر التشغيل 11 Ω فما مقدار التيار الفعّال؟

67. إذا أردت توليد قوة دافعة كهربائية مقدارها 4.5 V عن طريق تحريك سلك بسرعة 4.0 m /s خلال مجال مغناطيسي مقداره 0.050 T فما طول السلك اللازم؟ وما مقدار الزاوية بين المجال واتجاه الحركة لكي نستخدم أقصر سلك؟

68. يتحرك سلك طوله 40.0 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.32 T بسرعة 1.3 m /s، فإذا اتصل السلك بدائرة مقاومتها 10.0 Ω فما مقدار التيار المار فيها؟

69. إذا وصلت طرفي سلك نحاسي مقاومته 0.10 Ω بطرفي جلفانومتر مقاومته 875 Ω، ثم حركت 10.0 cm من السلك إلى أعلى بسرعة 1.0 m /s عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 2.0×10^{-2} T، فما مقدار التيار الذي سيقيسه الجلفانومتر؟

70. تحرك سلك طوله 2.5 m أفقيًّا بسرعة 2.4 m /s داخل مجال مغناطيسي مقداره 0.045 T في اتجاه يصنع زاوية مقدارها 60° فوق الأفقي. احسب:

a. المركبة الرأسية للمجال المغناطيسي.

b. القوة الدافعة الكهربائية الحثية *EMF* المتولدة في السلك.

71. **السدود** يُنتج مولد كهربائي على سدٍّ قدرةً كهربائية مقدارها 375 MW، إذا كانت كفاءة المولّد والتوربين 85% فأجب عما يلي:

a. احسب معدل الطاقة التي يجب أن يزود بها التوربين من المياه الساقطة.

b. طاقة الماء الساقط تكون نتيجة للتغير في طاقة الوضع $P.E = mgh$. ما مقدار التغير في طاقة الوضع اللازمة في كل ثانية؟

تقويم الفصل 1

c. إذا كان الماء يسقط من ارتفاع 22 m فما مقدار كتلة الماء التي يجب أن تمر خلال التوربين في كل ثانية لتعطي هذه القدرة؟

72. يتحرك موصل طوله 20 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 4.0 T بسرعة 1 m /s. احسب فرق الجهد المتولد.

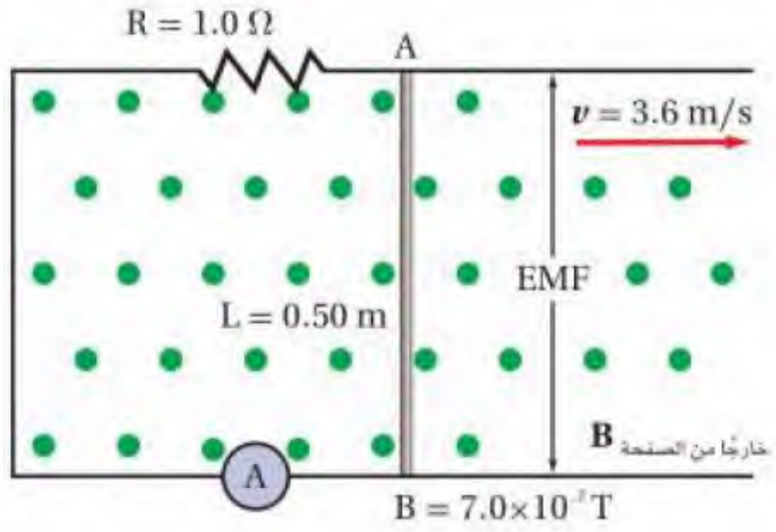
73. ارجع إلى المثال 1 والشكل **26–1** لإيجاد ما يلي:

a. الجهد الحثي المتولد في الموصل.

b. مقدار التيار I.

c. اتجاه دوران المجال المغناطيسي المتولد حول الموصل.

d. قطبية النقطة A بالنسبة إلى النقطة B.



الشكل 26–1

2–1 تغيّر المجالات المغناطيسية يولد قوة دافعة كهربائية حثية

74. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي من 150 لفة، ويتصل بمصدر جهد مقداره 120 V، احسب عدد لفات الملف الثانوي الضرورية للتزويد بالجهود التالية:

a. 625 V

b. 35 V

c. 6.0 V

75. محول مثالي رافع يتكون ملفه الابتدائي من 80 لفة، ويتكون ملفه الثانوي من 1200 لفة، إذا زوّدت دائرة الملف الابتدائي بفرق جهد متناوب مقداره 120 V، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار فرق الجهد في الملف الثانوي؟

b. إذا كان تيار الملف الثانوي 2.0 A فما مقدار تيار الملف الابتدائي؟

c. ما مقدار القدرة الداخلة والقدرة الناتجة عن المحول؟

76. **الحواسيب الشخصية** محول مثالي في حاسوب شخصي يحتاج إلى جهد فعّال مقداره 9.0 V من مصدر جهد مقداره 120 V

a. ما عدد لفات الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي 475 لفة؟

b. إذا كان التيار المار في الحاسوب يساوي 125 mA فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي للمحول؟

77. **مجففات الشعر** صنع مجفف شعر ليعمل على تيار مقداره 10 A وفرق جهد 120 V في بلد ما. إذا أريد استخدام هذا الجهاز في بلد آخر مصدر الجهد فيه 240 V فاحسب:

a. النسبة التي يجب أن تكون بين عدد لفات ملفه الابتدائي وعدد لفات ملفه الثانوي.

b. مقدار التيار الذي يعمل عليه في البلد الجديد.

78. محول مثالي قدرته 150 W يعمل على جهد 9.0 V لينتج تيارًا 5.0 A.

a. هل المحول رافع أم خافض للجهد؟

b. ما النسبة بين جهد الملف الثانوي وجهد الملف الابتدائي؟

79. وصل أحمد محولًا مثاليًّا بمصدر جهد مقداره 24 V وقاس 8.0 V في الملف الثانوي، إذا عُكست دائرتا الملف الابتدائي والثانوي فما مقدار الجهد الناتج في هذه الحالة؟

تقويم الفصل 1

مراجعة عامة

80. عـــدد لفـــات الملف الابتدائـــي في محول مثـــالي رافع 500 لفة وعـــدد لفات الملف الثانـــوي 15000 لفة. إذا وصلت دائرة الملف الابتدائي بمولد تيار متناوب قوته الدافعة الكهربائية 120 V، فأجب عما يلي:

a. احســـب القوة الدافعة الكهربائيـــة في دائرة الملف الثانوي.

b. إذا كان تيـــار دائـــرة الملف الثانوي يســـاوي 3.0 A، فاحسب تيار دائرة الملف الابتدائي.

c. ما مقدار القدرة المسحوبة بواسطة دائرة الملف الابتدائـــي؟ وما مقدار القـــدرة التي تُزوِّدها دائرة الملف الثانوي؟

81. مـــا مقدار السرعة التي يجب أن يقطع فيها موصل طولـــه 0.20 m مجالًا مغناطيســـيًّا مقداره 2.5 T عموديًّا عليه لتكـــون القوة الدافعـــة الكهربائية الحثية المتولدة فيه 10 V؟

82. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها موصل طوله 50 cm عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره 0.20 T لكي تتولد فيه قـــوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 1.0 V؟

83. دائـــرة إنارة منزلية تعمل عـــلى جهد فعّال مقداره 120 V، ما أكبر قيمة متوقعة للجهد في هذه الدائرة؟

84. **محمصـــة الخبز** تعمل محمصـــة خبز بتيار متناوب مقداره 2.5 A، ما أكبر قيمة للتيار في هذا الجهاز؟

85. يحدث تلف للعـــزل في مكثف إذا تجـــاوز الجهد اللحظـــي المقـــدار 575 V، ما مقـــدار أكبر جهد متناوب فعّال يمكن استخدامه في المكثف؟

86. **المنصهـــر الكهربائي** يعمل قاطع الدائرة المغناطيسي على فتح دائرته إذا بلغ التيار اللحظي فيها 21.25 A، ما مقدار أكبر تيار فعّال يمكن أن يمر بالدائرة؟

87. إذا كان فرق الجهد الكهربائـــي الداخل إلى محطة كهربائية فرعية يساوي 240000 V فما النسبة بين عدد لفات المحول المستخدم إذا كان الجهد الخارج من المحطة يساوي 440 V؟

88. يزود مولـــد تيار متناوب ســـخانًا كهربائيًّا بقدرة مقدارها 45 kW، فإذا كان جهد النظام يســـاوي 660 V فعال فما القيمة العظمى للتيار المزوّد للنظام؟

89. يتكون الملف الابتدائي في محول مثالي خافض من 100 لفة، ويتكون الملـــف الثانوي من 10 لفات. فإذا وصل بالمحـــول مقاومة حمل قدرتها 2.0 kW فما مقدار التيـــار الفعّال الابتدائـــي؟ افترض أن مقدار الجهد في الملف الثانوي يساوي 60.0 V.

90. قدرة محول 100 kVA، وكفاءته 98%.

a. إذا اســـتهلك الحمل الموصول به 98 kW فما مقدار القدرة الداخلة إلى المحول؟

b. ما مقـــدار أكـــبر تيـــار في الملـــف الابتدائي الضروري لجعـــل المحول يســـتهلك قدرته الفعالة؟ افترض أن $V_p = 600\ V$.

91. يقطع ســـلك طوله 0.40 m عموديًّا خطوط مجال مغناطيسي شدته 2.0 T، بسرعة 8.0 m/s

a. ما مقـــدار القـــوة الدافعـــة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

b. إذا كان الســـلك جـــزءًا من دائـــرة مقاومتها 6.4 Ω فما مقدار التيار المار فيه؟

92. يتحرك ملف ســـلكي طوله 7.50 m عموديًّا على المجال المغناطيسي الأرضي بسرعة 5.50 m/s، إذا كانت المقاومة الكلية للســـلك $5.0\times10^{-2}\ \Omega$، فما مقدار التيار المار فيه؟ افترض أن المجال المغناطيسي للأرض يساوي $5\times10^{-5}\ T$.

93. القيمة العظمى للجهد المتناوب، الذي يطبق على مقاومة مقدارها 144 Ω هي $1.00\times10^{2}\ V$، ما مقدار القدرة التي يمكن أن تعطيها المقاومة الكهربائية؟

تقويم الفصل 1

94. التلفاز يستخدم محول رافع في أنبوب الأشعة المهبطية CRT في التلفاز لتحويل الجهد من 120 V إلى 48000 V، إذا كان عدد لفات الملف الثانوي للمحول 20000 لفة، وكان الملف يعطي تيارًا مقداره 1.0 mA، فأجب عما يلي:

a. ما عدد لفات الملف الابتدائي؟

b. ما مقدار التيار الداخل إلى الملف الابتدائي؟

التفكير الناقد

95. تطبيق المفاهيم افترض أن هناك معارضًا لقانون لنز يقول إن القوة تعمل على زيادة التغير في المجال المغناطيسي. لذلك عندما تحتاج إلى طاقة أكبر فإنه تلزمنا قوة أقل لتدوير المولد. فما قانون الحفظ الذي ينتهكه هذا القانون الجديد؟ وضّح إجابتك.

96. حلّل لا تصل كفاءة المحولات العملية إلى 100%. اكتب تعبيرًا يمثل كفاءة المحول بدلالة القدرة. إذا استخدم محول خافض كفاءته 92.5%، وعمل على خفض الجهد في المنزل من 125 V إلى 28.0 V، وكان التيار المار في دائرة الملف الثانوي يساوي 25.0A فما مقدار التيار المار في دائرة الملف الابتدائي؟

97. حلّل واستنتج محول كهربائي كفاءته 95 % يزود ثمانية منازل. وكل منزل يشغل فرنًا كهربائيًا يسحب تيارًا مقداره 35 A بفرق جهد مقداره 240 V، ما مقدار القدرة التي تزود بها الأفران الثمانية؟ وما مقدار القدرة المستنفدة في المحول في صورة حرارة؟

الكتابة في الفيزياء

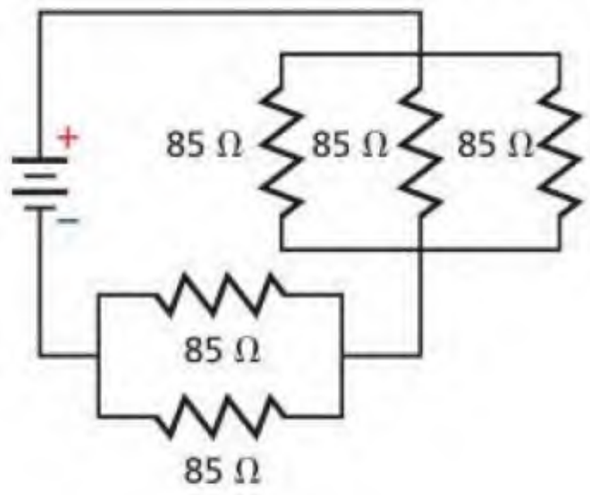
98. صمّمت الأجهزة الشائعة مثل المثقب الكهربائي بصورة مثالية بحيث يحتوي على محرك توالٍ. ارجع إلى مكتبتك وبعض المصادر الأخرى لتوضح كيف يمكن لهذا النوع من المحركات استخدام تيار متناوب أو تيار مستمر.

مراجعة تراكمية

99. ما مقدار الشحنة على مكثف سعته 22 μF عندما يكون فرق الجهد بين لوحيه 48 V؟ (فيزياء 2-3)

100. ما مقدار فرق الجهد بين طرفي مقاومة كتب عليها 22 Ω و5.0 W عندما تصبح القدرة نصف قيمتها العظمى؟ (فيزياء 2-3)

101. احسب المقاومة المكافئة للمقاومات الموضحة في الشكل **27-1**. (فيزياء 2-3)



الشكل 27-1

102. يتحرك إلكترون بسرعة 2.1×10^{6} m/s عموديًا على مجال مغناطيسي مقداره 0.81 T، ما مقدار القوة المؤثرة في الإلكترون؟ وما مقدار تسارعه؟ علمًا بأن كتلته 9.11×10^{-31} kg.(الفصل 1)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي تحليل للوحدات يعدّ صحيحًا لحساب القوة الدافعة الكهربائية *EMF* ؟

Ⓐ (N.A.m)(J)

Ⓑ J.C

Ⓒ (N/A.m)(m)(m/s)

Ⓓ (N.m.A/s)(1/m)(m/s)

2. تولدت قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها 4.20×10^{-2} V في سلك طوله 427 mm، يتحرك بسرعة 18.6 cm /s عموديًّا على مجال مغناطيسي. ما مقدار هذا المجال؟

Ⓐ 5.29 T

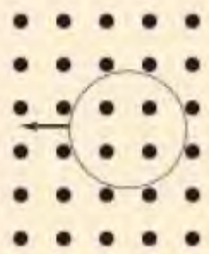
Ⓑ 1.89 T

Ⓒ 3.34×10^{-3} T

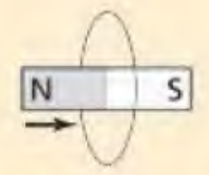
Ⓓ 5.29×10^{-1} T

3. في أي الأشكال التالية لا يتولد تيار حثي في السلك؟

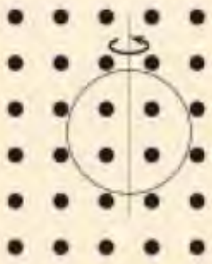
Ⓐ



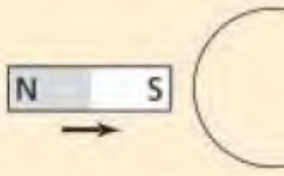
Ⓑ



Ⓒ



Ⓓ



4. يتحرك سلك طوله 15 cm بسرعة 0.12 m /s عموديًا على مجال مغناطيسي مقداره 1.4 T، ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية *EMF* المتولدة فيه؟

Ⓐ 0 V

Ⓑ 0.018 V

Ⓒ 0.025 V

Ⓓ 2.5 V

5. يستخدم محول مثالي مصدرًا للجهد مقداره 91 V لتشغيل جهاز يعمل بجهد مقداره 13 V. فإذا كان عدد لفات ملفه الابتدائي 130 لفة، والجهاز يعمل على تيار مقداره 1.9 A فما مقدار التيار المعطى للملف الابتدائي؟

Ⓐ 0.27 A

Ⓑ 0.70 A

Ⓒ 4.8 A

Ⓓ 13.3 A

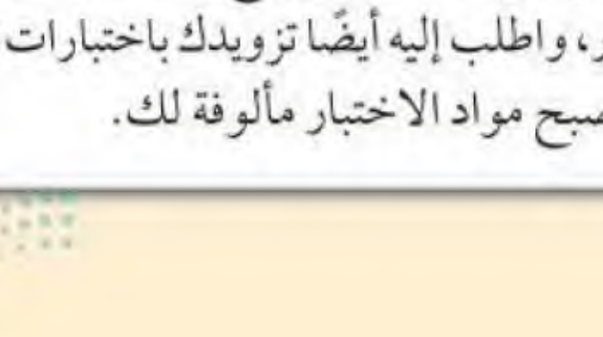
6. مولد تيار متناوب يعطى جهدًا مقداره 202 V بوصفه قيمة عظمى لسخان كهربائي مقاومته 480 Ω. ما مقدار التيار الفعّال في السخان؟

Ⓐ 0.298 A

Ⓑ 1.68 A

Ⓒ 2.38 A

Ⓓ 3.37 A



الأسئلة الممتدة

7. قارن بين القدرة الضائعة في المحول عند نقل قدرة مقدارها 800 W بفرق جهد مقداره 160 V في سلك والقدرة الضائعة عند نقل القدرة نفسها بفرق جهد مقداره 960 V، افترض أن مقاومة السلك 2 Ω، ما الاستنتاج الذي يمكن التوصل إليه؟

✓ إرشاد

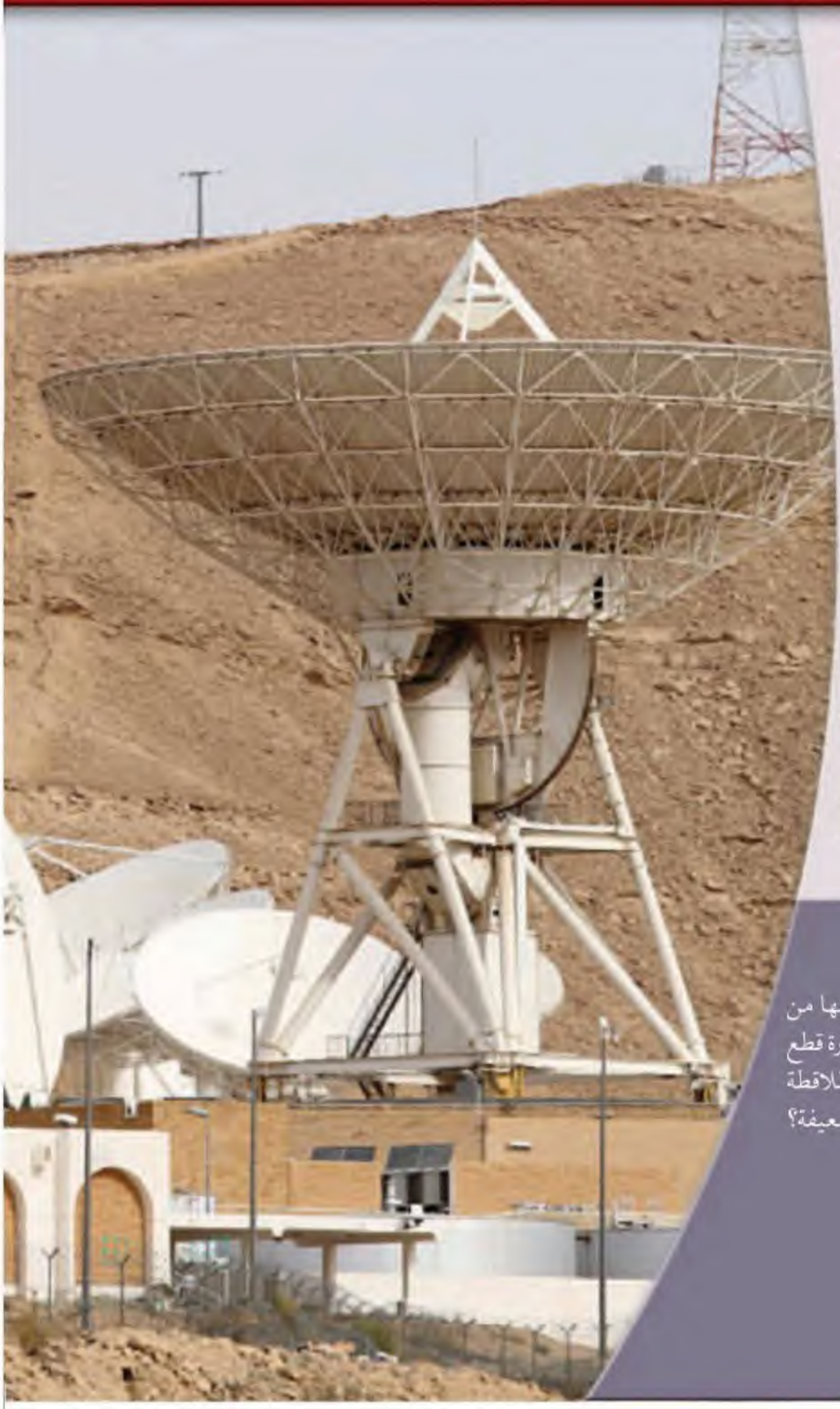
استقص

استفسر من معلمك عن نوع الأسئلة المتوقعة في الاختبار، واطلب إليه أيضًا تزويدك باختبارات تدريبية حتى تصبح مواد الاختبار مألوفة لك.

الفصل 2

الكهرومغناطيسية

Electromagnetism



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيفية استخدام المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية المتفاعلة معًا لتحديد كتل كل من الإلكترونات والذرات والجزيئات.
- توضيح كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها في الفراغ واستقبالها.

الأهمية

تؤدي العديد من الموجات الكهرومغناطيسية – بدءًا من موجات الراديو والتلفاز وحتى موجات الميكروويف والضوء المرئي والأشعة السينية – دورًا حيويًّا في حياتنا.

مستقبلات القطع المكافئ تصمّم أطباق القطع المكافئ اللاقطة لاستقبال موجات الراديو من الأقمار الاصطناعية التي تدور على بعد مئات الكيلومترات فوق سطح الأرض، ومن الأجسام الموجودة خارج النظام الشمسي.

فكّر ◄

حصلت أطباق القطع المكافئ على اسمها من شكل السطح العاكس الذي يكون في صورة قطع مكافئ. لماذا تكون أطباق القطع المكافئ اللاقطة مناسبة جدًا لاستقبال إشارات التلفاز الضعيفة؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

من أين تبث محطات الإذاعة؟

سؤال التجربة إشارات الراديو موجات كهرومغناطيسية. كم تبعد أجهزة الإرسال التي تبث إشارات محطة الإذاعة على حزمة موجات AM والتي يمكنك الاستماع إليها؟

الخطوات

1. مدى تردد موجات الراديو في حزمة AMيكون بين 540 kHz و1690 kHz. اعمل جدولاً للبيانات يتضمن أعمدة لكل من التردد (kHz)، واسم محطة الإذاعة، وقوة الإشارة، والموقع، والبعد (km).
2. شغّل المذياع، واضبطه على التردد 540 kHz، واضبط ارتفاع الصوت عند مستوى معتدل.
3. **جمع البيانات ونظمها** عدّل التردد ببطء إلى أن تسمع محطة إذاعة تبث بوضوح. أصغ إلى البث فترة قصيرة لتسمع ما إذا ذكرت المحطة إشارتها واسمها. ودوّن في جدول البيانات كلًّا من: تردد المحطة، وقوة الإشارة من خلال جودة الصوت(قوية، متوسطة، ضعيفة) واسم المحطة.
4. كرّر الخطوة 3 حتى تصل إلى أعلى تردد في حزمة الـ AM لموجات الراديو، 1690 kHz.
5. حدّد المكان الذي تبث منه كل محطة إشاراتها، ودوّن اسم المدينة التي تبث منها كل محطة في جدول البيانات.
6. **قس باستعمال الوحدات الدولية SI** باستخدام الخرائط، حدّد مواقع المدن التي تبث منها محطات الإذاعة، وقدّر بُعد هذه المدن عنك، ودوّن ذلك في جدول البيانات.

التحليل

ما بُعد أبعد محطة راديو عنك يمكنك التقاط موجاتها؟ وهل يؤثر بُعد محطة الإرسال في قوة إشارتها؟

التفكير الناقد يؤثر تغيير موقع الهوائي غالبًا في قوة إشارة المحطة. ما دلالة ذلك على طبيعة موجات الراديو؟



1–2 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

لعلك استخدمت أو سمعت ببعض الرموز والمصطلحات، مثل موجات الراديو القصيرة، وموجات الميكروويف، وإشارات التلفاز UHF و VHF، رغم أنك قد لا تعرف المعنى الدقيق لها؛ فكل منها يستخدم لوصف أحد أنواع الموجات الكهرومغناطيسية التي تبث عبر الهواء لتزوّدك بأشكال مختلفة من الاتصالات منها المذياع والتلفاز. وجميع هذه الموجات تتكون من مجالات كهربائية ومغناطيسية تنتشر في الفضاء.

ومفتاح فهم سلوك هذه الموجات هو فهم طبيعة الإلكترون. لماذا؟ لأن الموجات الكهرومغناطيسية تنتج عن مسارعة الإلكترونات؛ فشحنة الإلكترون تنتج مجالات كهربائية، وتُنتج حركته مجالات مغناطيسية. تبث هذه الموجات وتلتقط بالهوائيات؛ وهي أدوات مصنوعة من مواد تحتوي على إلكترونات أيضًا. لذا يعدّ تعرف خصائص الإلكترون الخطوة المنطقية الأولى لفهم كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وانتشارها واستقبالها واستخدامها في العديد من الأجهزة.

الأهداف

- **تصف** عمل أنبوب الأشعة المهبطية.
- **تحل** مسائل تتضمن التفاعل بين الجسيمات المشحونة والمجالات الكهربائية والمغناطيسية في أنبوب الأشعة المهبطية ومطياف الكتلة.
- **توضح** كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة.

المفردات

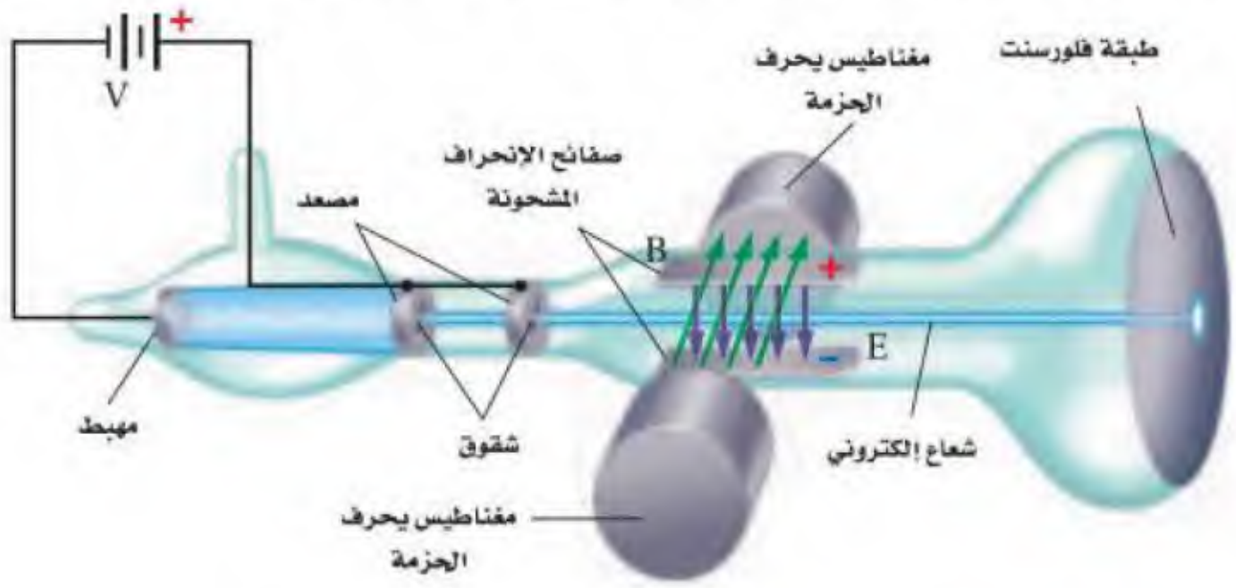
النظير

مطياف الكتلة

كتلة الإلكترون Mass of an Electron

كيف يمكن قياس كتلة جسم صغير جدًّا لا يمكن رؤيته بالعين المجردة، ولا يمكن قياسها بأكثر الموازين حساسية؟ كان هذا هو التحدي (تحديد كتلة الإلكترون)؛ فقد واجه الفيزيائيون هذا التحدي في أواخر القرن التاسع عشر، وتطلَّب الحل سلسلة من الاكتشافات، فكشف العالم روبرت مليكان أول قطعة من الأحجية حيث تمكّن مليكان من تعليق قطرة زيت مشحونة داخل مجال كهربائي، وموازنتها فيه ليتمكن بعدها من تحديد شحنة الإلكترون q، وهي تساوي(1.602×10^{-19} C) . ثم تمكن العالم البريطاني تومسون من تحديد نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته q/m. وبمعرفة كل من شحنة الإلكترون q، ونسبة شحنته إلى كتلته تمكن تومسون من حساب كتلة الإلكترون.

تجارب تومسون مع الإلكترونات في عام 1897 م أجرى تومسون أول قياس تجريبي لنسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته باستخدام أنبوب أشعة المهبط، وهو جهاز يولد حزمة إلكترونات. يبين **الشكل 1–2** الإعدادات المستخدمة في التجربة. ولتقليل التصادمات بين الإلكترونات وجزيئات الهواء؛ فرّغ تومسون الأنبوب من الهواء بدرجة كبيرة.



الشكل 1–2 قيست نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته أولاً باستخدام تعديلات تومسون على أنبوب الأشعة المهبطية. وقد استخدم كلًّا من المغانط الكهربائية وصفائح الانحراف المشحونة للتحكم في مسار حزمة الإلكترونات.

باستخدام فرق جهد كبير بين المهبط (الكاثود) والمصعد (الأنود) داخل أنبوب أشعة المهبط يتولد مجال كهربائي، فتنبعث الإلكترونات من المهبط، وتتسارع نحو المصعد بالمجال الكهربائي، فتمر بعض هذه الإلكترونات من خلال شقوق موجودة في المصعد لتشكل حزمة ضيقة، وعندما تصل هذه الإلكترونات إلى نهاية الأنبوب تصطدم بطلاء فلورسنت فتسبب توهجها.

تجربة عملية
ما مقدار كتلة الإلكترون؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

استخدم تومسون مجالات كهربائية وأخرى مغناطيسية لتوليد قوة تؤثر في حزمة الإلكترونات المارة في الأنبوب وتحرفها. ويكون المجال الكهربائي E – الذي تم توليده عن طريق صفيحتين مشحونتين ومتوازيتين – متعامدًا مع اتجاه حزمة الإلكترونات، وينتج قوة مقدارها qE تؤثر في الإلكترونات وتحرفها إلى أعلى نحو الصفيحة الموجبة. أما المجال المغناطيسي الناتج عن مغناطيسين كهربائيين فهو متعامد مع كل من اتجاه الحزمة واتجاه المجال الكهربائي. ولعلك تتذكر ممّا درسته سابقًا أن القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي تتعامد مع كل من المجال المغناطيسي واتجاه حركة الإلكترونات، لذلك ينتج المجال المغناطيسي B قوة تساوي Bqv (حيث تمثل v سرعة الإلكترون) تؤثر في الإلكترونات، وتحرفها إلى أسفل.

ويمكن تعديل المجالين الكهربائي والمغناطيسي بحيث تسلك حزمة الإلكترونات مسارًا مستقيمًا دون انحراف. وعند ها تكون القوة المغناطيسية مساوية للقوة الكهربائية ومعاكسة لها في الاتجاه. ورياضيًّا يمكن تمثيل ذلك بما يأتي: $Bqv = qE$

بحل المعادلة لحساب v نحصل على ما يأتي: $v = \frac{Eq}{Bq} = \frac{E}{B}$

تبين هذه المعادلة أن القــوى تكون متزنة فقط للإلكترونات ذات السرعة المحددة v. وإذا أزيل المجال الكهربائي فســتبقى القوة الناتجة عن المجال المغناطيسي فقط. وهي عمودية على اتجاه حركة الإلكترونات، مما يؤدي إلى خضوع الإلكترونات لتسارع مركزي، فتسلك الإلكترونات مســارًا دائريًّا نصف قطره يســاوي r. ويمكن كتابة المعادلة الآتية لوصف مسار الإلكترون؛ وذلك باستخدام القانون الثاني لنيوتن في الحركة. $Bqv = \frac{mv^2}{r}$

وبحل المعادلة لإيجاد q/m نحصل على المعادلة الآتية:

نسبة الشحنة إلى الكتلة في أنبوب تومسون $\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$

نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته في أنبوب تومسون تساوي سرعة الإلكترون مقسومة على حاصل ضرب مقدار المجال المغناطيسي في نصف قطر المسار الدائري للإلكترون.

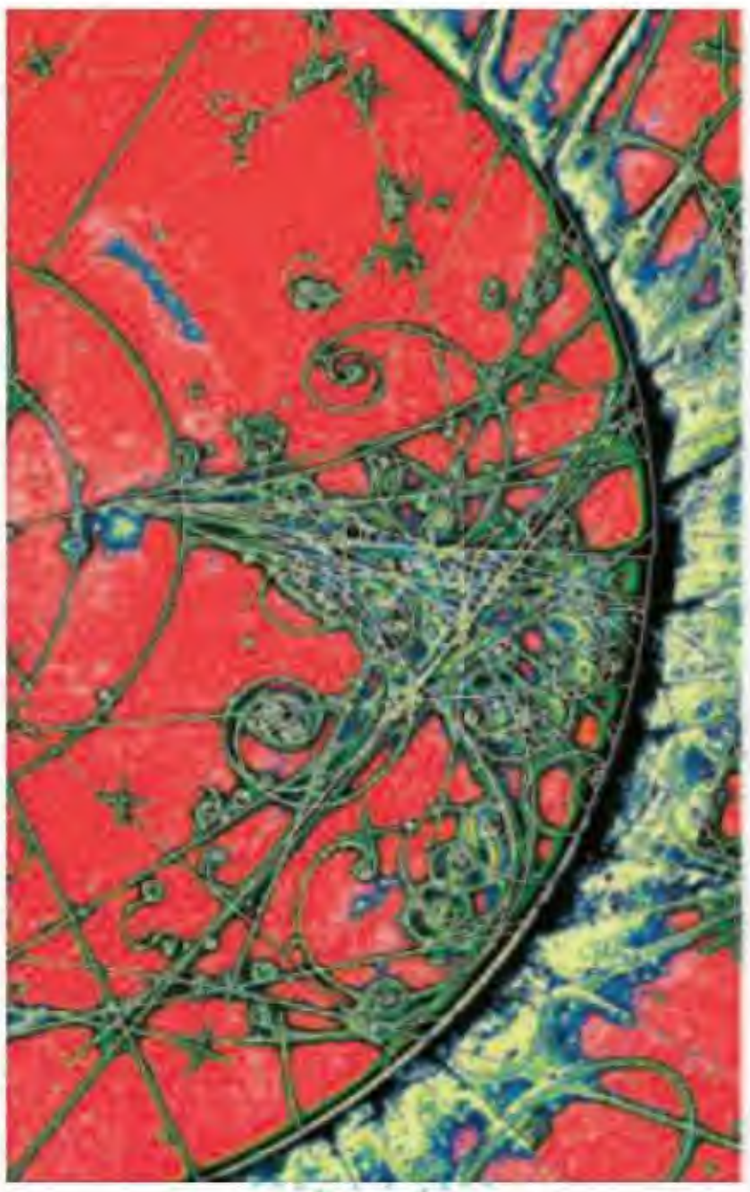
حســب تومســون سرعة الإلكترونات في المسار المســتقيم v باســتخدام القيم المقيسة في المجالــين E و B، ثم قاس المســافة بين البقعة المتكونة بواســطة الحزمــة غير المنحرفة للإلكترونات والبقعة المتكونة عندما أثر المجال المغناطيسي في تلك الحزمة. وبالاســتعانة بهذه المســافة أوجد نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه الإلكترون r. وبمعرفة قيمة r تمكن تومسون من إيجاد النسبة q/m. وبعد إيجاد المتوسط الحسابي لعدة محاولات تجريبية وجد أن $q/m = 1.759\times10^{11}\ C/kg$، وباستخدام القيمة للنسبة q/m وتعويض مقدار q المعروف يمكن حساب كتلة الإلكترون.

$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{1.602\times10^{-19}\,C}{1.759\times10^{11}\,C/kg} = 9.107\times10^{-31}\,kg$$

$$m \cong 9.11\times10^{-31}\,kg$$

تجارب تومسون مع البروتونات اســتخدم تومســون أنبوب أشــعة المهبط أيضًا لتحديد نسبة شحنة الأيونات الموجبة إلى كتلتها. واســتغل حقيقة أن الجسيمات المشحونة بشحنة موجبة تخضع لانحرافات معاكســة للانحرافــات التي تحــدث للإلكترونات المتحركة داخــل المجالات الكهربائية أو المغناطيســية. ويمكن ملاحظــة الاختلاف بين انحراف الإلكترونات والأيونات الموجبة من خلال **الشكل 2–2**.

لمسارعة الجســيمات ذات الشــحنة الموجبة في منطقة الانحراف، عكَسَ تومسون المجال الكهربائي بين المهبط والمصعد، كــما أضاف كمية قليلة من غاز الهيدروجين إلى الأنبوب، فعمــل المجال الكهربائي على انتــزاع الإلكترونات مــن ذرات الهيدروجين، فحوَّلها إلى أيونات موجبة، ثم ســارعها أيونات الهيدروجين أو البروتونات من خلال شق ضيق في المصعد، فمرت الحزمة الناتجة خلال المجالين الكهربائي والمغناطيسي في طريقها نحو نهاية الأنبوب.



الشكل 2–2 تبين الصورة المسارات الدائرية للإلكترونات e^- والبوزترونات e^+ المتحركة داخل مجال مغناطيسي في غرفة فقاعية؛ وهي نوع من أجهزة الفحص والكشف المستخدمة سابقًا في فيزياء الطاقة العالية. تنحرف الإلكترونات والبوزترونات في اتجاهين متعاكسين.

باستخدام هذه التقنية أمكن حســاب كتلة البروتون؛ أي بالطريقة نفسها التي حسب بها كتلة الإلكترون، ووجد أن كتلة البروتون $1.67\times10^{-27}\ kg$. واستمر تومسون في استعمال هذه التقنية لتحديد كتل الأيونات الثقيلة المُنتَجة بعد انتزاع الإلكترونات من غازات منها: الهيليوم والنيون والأرجون.

مثـــال 1

نصف قطر المسار يتحرك إلكترون كتلته $9.11\times10^{-31}\ kg$ بسرعة $2.0\times10^{5}\ m/s$ داخل أنبوب أشعة المهبط عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $3.5\times10^{-2}\ T$. فإذا فصل المجال الكهربائي، فما مقدار نصف قطر المسار الدائري الذي سلكه الإلكترون؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسار الإلكترون، وثبت عليه السرعة v.
- ارسم المجال المغناطيسي متعامدًا مع السرعة.
- حدّد اتجاه القوة المؤثرة في الإلكترون، وأضف نصف قطر المسار الذي يسلكه الإلكترون إلى رسمك.

المعلوم	المجهول
$v= 2.0\times10^{5}\ m/s$ $B= 3.5\times10^{-2}\ T$ $m= 9.11\times10^{-31}\ kg$ $q= 1.602\times10^{-19}\ C$	$r=?$

دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم القانون الثاني لنيوتن في الحركة لوصف حركة الإلكترون في أنبوب أشعة المهبط والمعرض لمجال مغناطيسي.

$$Bqv = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{Bq}$$

بالتعويض عن $m= 9.11\times10^{-31}\ kg$، $v= 2.0\times10^{5}\ m/s$، $B= 3.5\times10^{-2}\ T$، $q= 1.602\times10^{-19}\ C$

$$r = \frac{(9.11\times10^{-31}\ kg)(2.0\times10^{5}\ m/s)}{(3.5\times10^{-2}\ T)(1.602\times10^{-19}\ C)}$$

$$r = 3.3\times10^{-5}\ m$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة نصف قطر المسار الدائري هي وحدة قياس الطول، ويقاس الطول بالأمتار.

مسائل تدريبية

افترض أن الجسيمات المشحونة جميعها تتحرك عموديًّا على المجال المغناطيسي المنتظم.

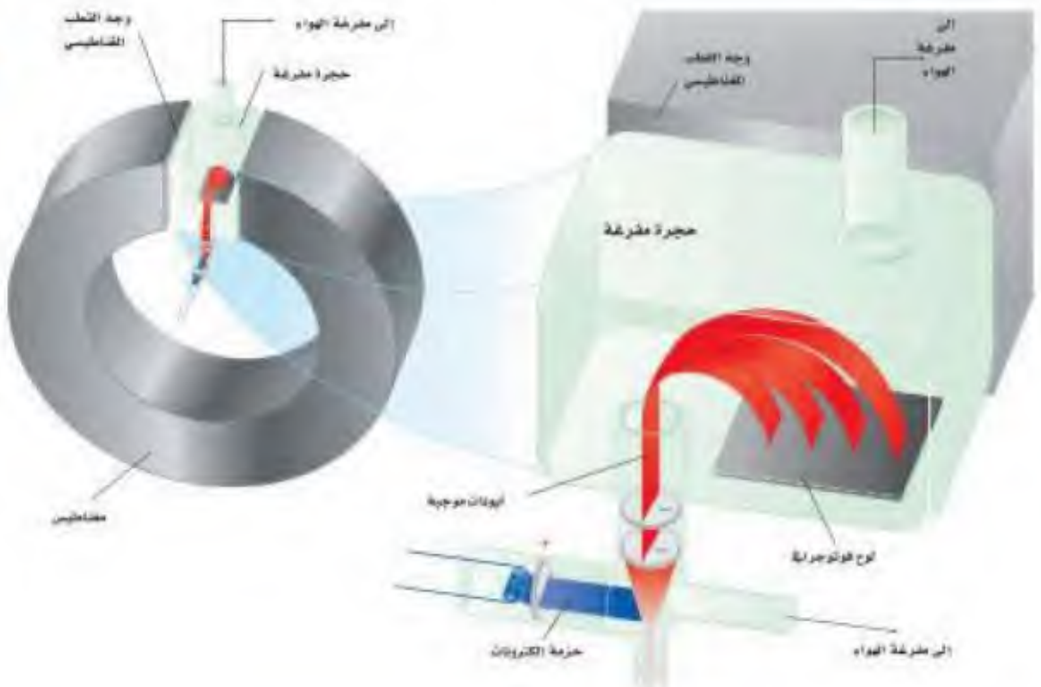
1. يتحرك بروتون بسرعة $7.5\times10^{3}\ m/s$ عموديًّا على مجال مغناطيسي مقداره $0.60\ T$. احسب نصف قطر مساره الدائري. لاحظ أن الشحنة التي يحملها البروتون مساوية للشحنة التي يحملها الإلكترون، إلا أنها موجبة.
2. تتحرك إلكترونات خلال مجال مغناطيسي مقداره $6.0\times10^{-2}\ T$، قد اتزنت بفعل مجال كهربائي مقداره $3.0\times10^{3}\ N/C$. ما مقدار سرعة الإلكترونات عندئذ؟
3. احسب نصف قطر المسار الدائري الذي تسلكه الإلكترونات في المسألة السابقة في غياب المجال الكهربائي.
4. عبرت بروتونات مجال مغناطيسي مقداره $0.60\ T$ فلم تنحرف بســبب اتزانها مع مجال كهربائي مقداره $4.5\times10^{3}\ N/C$. ما مقدار سرعة هذه البروتونات؟

مطياف الكتلة The Mass Spectrometer

حدث شيء مثير للاهتمام عندما وضع تومسون غاز النيون في أنبوب الأشعة المهبطية، فقد لاحظ توهج نقطتين مضيئتين على الشاشة بدلاً من نقطة واحدة. وكل نقطة تتوافق مع نسبة من نسب الشحنة إلى الكتلة؛ لذلك تمكّن من حساب قيمتين مختلفتين للمقدار q/m. وخلص تومسون إلى أن الذرات المختلفة من العنصر نفسه لها خصائص كيميائية متماثلة؛ لكن لها كتلًا مختلفة. ويطلق على الأشكال المختلفة للذرة والتي لها الخصائص الكيميائية نفسها ولكنها مختلفة الكتل **النظائر**.

ويسمّى الجهاز المماثل لأنبوب أشعة المهبط لتومسون والذي يستخدم لدراسة النظائر وقياس النسبة بين الأيون الموجب وكتلته **مطياف الكتلة**. وتسمى المادة التي قيد الفحص والاستقصاء مصدرَ الأيون، وتستخدم لإنتاج الأيونات الموجبة. ويجب أن يكون مصدر الأيون هذا غازًا أو مادة يمكن تسخينها لتشكّل بخارًا. وتتشكل الأيونات الموجبة عند اصطدام الإلكترونات المسرّعة بالغاز أو بذرات البخار؛ حيث تؤدي تلك التصادمات إلى تحرير إلكترونات من الذرات لتتشكّل الأيونات الموجبة. يولِّد فرق الجهد V بين الأقطاب مجالاً كهربائيًّا يستخدم لمسارعة الأيونات. ويوضّح **الشكل 3a–2** مخطط توضيحي لمطياف الكتلة، وفي **الشكل 3b–2** أحد أجهزة مطياف الكتلة بمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم التقنية.

a



الشكل 3–2 يستخدم مطياف الكتلة لتحليل نظائر العنصر؛ حيث يعمل المغناطيس داخل المطياف على انحراف الأيونات الموجبة في الحجرة المفرغة وفق كتلها. وتسجّل العملية في الحجرة المفرغة على لوح فوتوجرافي أو على كاشف مصنّع من مادة في حالتها الصلبة. (a) باحث سعودي يجري تجربة باستخدام جهاز مطياف الكتلة في مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (b).

b



لاختيار أيونـات بسرعة محددة تمـرر الأيونات داخـل مجالات كهربائية ومغناطيسـية والأيونات التي تعبر المجالين دون حدوث انحراف لمسـارها تدخل منطقة تتعرض فيها لمجـال مغناطيسي منتظم فقط، حيث تتحرك الأيونات في مسـارات دائرية. وتسـتخدم أنصاف أقطار تلك المسارات لتحديد نسبة شـحنة الأيونات إلى كتلتها. ويمكن حساب نصف القطر r لمسار الأيون بالقانون الثاني لنيوتن في الحركة.

$$\mathrm{Bq}v = \frac{mv^2}{r}$$

وبحل المعادلة السابقة بالنسبة إلى r نجد أن:

$$r = \frac{mv}{\mathrm{Bq}}$$

يمكن حسـاب سرعة الأيون غير المنحرف من علاقة الطاقة الحركية للأيونات المتسارعة من السكون خلال فرق جهد معلوم V.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \mathrm{qV}$$

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}}$$

و يعطي تعويض قيمة v في المعادلة $r=mv/qB$ نصف قطر المسار الدائري .

$$r = \frac{mv}{\mathrm{Bq}}$$

$$= \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{qB}}\sqrt{\frac{2\mathrm{qV}}{m}}$$

$$= \frac{1}{\mathrm{B}}\sqrt{\frac{2Vm}{\mathrm{q}}}$$

بتبسيط المعادلة عن طريق ضرب كلا طرفيها في المقدار B نحصل على:

$$Br = \sqrt{\frac{2mV}{\mathrm{q}}}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة

$$\frac{\mathrm{q}}{m} = \frac{2\mathrm{V}}{\mathrm{B}^2r^2}$$

نسبة شحنة أيون إلى كتلته في مطياف الكتلة تساوي مثليْ فرق الجهد مقسومًا على حاصل ضرب مربع مقـدار المجال المغناطيسي في مربع نصف قطر المسـار الدائري للأيون.

كما يوضح **الشـكل 3–2** أن الأيونات تصطدم بصفائح أفـلام فوتوجرافية تاركة نقطة (علامـة). ويمكن قياس قطر مسـار المنحنى الذي يسـلكه الأيون في الحجـرة المفرّغة بسهولة؛ لأنه يمثل المسافة بين تلك النقطة على الفيلم والشق الموجود في القطب. ولذلك يكون نصف قطر المسار r هو نصف هذه المسافة المقيسة.

تجـربة

عمل نموذج لمطياف الكتلة

هيئ مستوى مائلا بوضع كرة من الصلصال تحت أحد طرفي مسطرة فيها أخدود. ثم ضع كرة فلزية قطرها 6 mm في منتصف المنحدر واتركها.

1. **لاحظ** الكرة في أثناء تدحرجها إلى أسفل المنحدر وعلى طول سطح الطاولة.
2. **جـرّب** ضع مغناطيسًا قويًا بالقرب من المسار الذي تسلكه الكرة على سطح الطاولة. اجعل المغناطيس قريبًا من المسار بحيث تنحرف الكرة في مسار منحنٍ على ألا تصطدم بالمغناطيس. كرر الخطوة 1 وفق الحاجة.
3. **توقع** ماذا يحدث لمسار الكرة إذا تركت لتتدحرج من مكان أعلى أو من مكان أقل ارتفاعًا من السابق على المنحدر؟
4. اختبر توقعك.

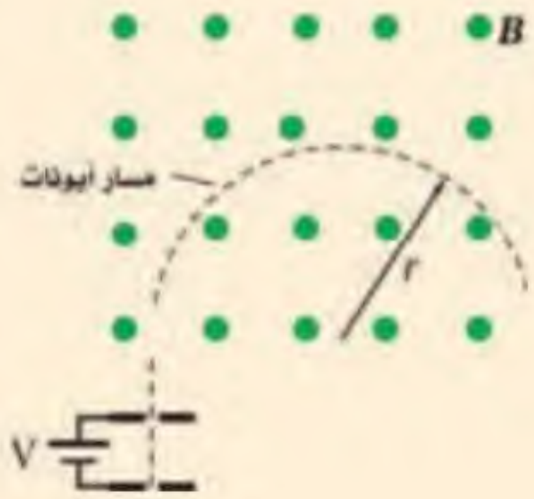
التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** ما إذا كانت النتائج الملاحظة تتفق مع الملاحظات الخاصة بالجسيمات المشحونة عند حركتها داخل المجال المغناطيسي.

طرق حل بديلة

مثـــــال 2

كتلة ذرة النيون ينتج مشغل مطياف الكتلة حزمة ذرات نيون ثنائية التأين (2+). حيث تُسرّع هذه الحزمة أولاً بواسطة فرق جهد مقداره 34 V، ثم يتم إدخالها في مجال مغناطيسي مقداره 0.050 T، فتنحرف في مسار دائري نصف قطره 53 mm. أوجد كتلة ذرة النيون إلى أقرب عدد صحيح من كتلة البروتون.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مسارًا دائريًّا للأيونات، وحدّد عليه نصف القطر.
- ارسم فرق الجهد بين القطبين وحدّده.

المعلوم

$m_{\text{بروتون}} = 1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}$

$q = 2(1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}) = 3.20 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$V = 34\ \text{V}$

$B = 0.050\ \text{T}$

$r = 0.053\ \text{m}$

المجهول

$m_{\text{نيون}} = ?$

$N_{\text{بروتون}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة نسبة شحنة الأيون إلى كتلته في مطياف الكتلة.

بالتعويض عن

$q = 3.20 \times 10^{-19}\ \text{C}$، $V = 34\ \text{V}$، $r = 0.053\ \text{m}$،

$B = 0.050\ \text{T}$

$$\frac{q}{m_{\text{نيون}}} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{qB^2 r^2}{2V}$$

$$m_{\text{نيون}} = \frac{(3.2 \times 10^{-19}\ \text{C})(0.050T)^2\,(0.053\text{m})^2}{2(34\ \text{V})}$$

$$m_{\text{نيون}} = 3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}$$

بقسمة كتلة النيون على كتلة البروتون نجد عدد البروتونات.

$$N_{\text{بروتون}} = \frac{m_{\text{نيون}}}{m_{\text{بروتون}}} = \frac{3.3 \times 10^{-26}\ \text{kg}}{1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg/بروتون}} \cong 20\ \text{بروتون}$$

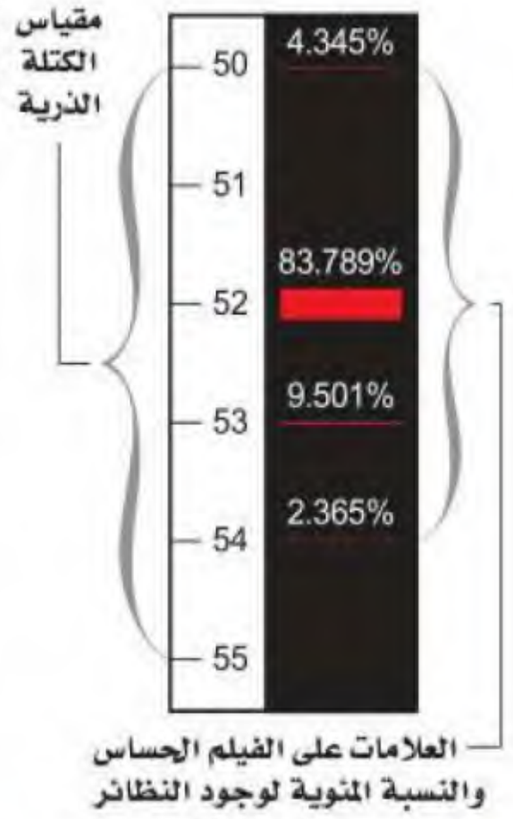
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة إما بالجرام أو بالكيلوجرام، وعدد البروتونات ليس له وحدة.
- **هل الجواب منطقي؟** النيون له نظيران بكتل تساوي تقريبًا 20 و 22 ضعف كتلة البروتون.

مسائل تدريبية

5. تمـــر حزمة من ذرات الأكســـجين الأحاديـــة التأين (1+) خلال مطيـــاف الكتلة. فإذا كانـــت: $B = 7.2 \times 10^{-2}\ \text{T}$، $q = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$، و $r = 0.085\ \text{m}$، و $V = 110\ \text{V}$ فأوجد كتلة ذرة الأكسجين.
6. يحلل مطياف كتلة ويزود ببيانات عن حزمة من ذرات أرجون ثنائية التأين (2+). إذا كانت قيم كل من v, r, q, B كما يأتي: $q = 2(1.60 \times 10^{-19}\text{C})$، $r = 0.106\ \text{m}$، و $B = 5.0 \times 10^{-2}\ \text{T}$ و $V = 66.0\ \text{V}$ فأوجد كتلة ذرة الأرجون.
7. تمر حزمة من ذرات ليثيوم أحادية التأين (1+) خلال مجال مغناطيسي مقداره $1.5 \times 10^{-3}\ \text{T}$ متعامد مع مجال كهربائي مقداره $6.0 \times 10^{2}\ \text{N/C}$ ولا تنحرف. أوجد سرعة ذرات الليثيوم التي تمر خلال المجالين؟
8. تم تحديد كتلة نظير النيون في المثال 2. فإذا وجد أن هناك نظيرًا آخر للنيون كتلته تعادل كتلة 22 بروتونًا فما المسافة بين نقطتي سقوط النظيرين على الفيلم الفوتوجرافي الحساس؟

الربط مع الكيمياء



■ **الشكل 4–2** يستخدم مطياف الكتلة على نطاق واسع لتحديد نسب نظائر العنصر. ويبين التمثيل أعلاه نتائج تحليل العلامات الظاهرة على الفيلم بنظائر الكروم.

تحليل النظائر يوضّح **الشكل 4–2** المسافات التقريبية بين العلامات التي تتركها عينة كروم متأينة (Cr^{+}) على الفيلم. وعلى الرغم من أن جميع أيونات الكروم التي اصطدمت بالفيلم لها الشحنة نفسها؛ حيث تعتمد شحنتها على عدد الإلكترونات التي فقدت من الذرات المتعادلة التي استخدمت مصدرًا للأيونات، إلا أن العلامات الأربع الحمراء تشير إلى أن عينة الكروم تحتوي على أربعة نظائر. ويدل عرض العلامة على توافر وجود النظير. لاحظ أن النظير 52 هو النظير الأكثر وجودًا، وأن مجموع نسب النظائر يساوي 100%. وكما تتذكر من الكيمياء فإن كتلة كل عنصر من العناصر المدرجة في الجدول الدوري تمثل في الحقيقة متوسط كتل جميع النظائر المستقرة لذلك العنصر.

وتذكر أن الأيونات تتكون عند استخدام إلكترونات متسارعة في تحرير إلكترونات الذرات المتعادلة. وعند تحرير أول إلكترون نحصل على ذرة أحادية التأين (1+). وهناك حاجة إلى طاقة أكبر لتحرير الإلكترون الثاني من الذرة للحصول على ذرة ثنائية التأين (2+). ويمكن توفير هذه الطاقة الإضافية عن طريق مسارعة الإلكترونات إلى درجة كبيرة بتعريضها لمجال كهربائي كبير، أي أن الإلكترونات المتسارعة ذات الطاقة العالية يمكنها إنتاج أيونات أحادية وأيونات ثنائية. بهذه الطريقة يعمل مشغل مطياف الكتلة على اختيار شحنة الأيون لدراستها.

تطبيقات أخرى لمطياف الكتلة استخدامات متعددة. فمثلاً يمكن استخدام مطياف الكتلة لفصل عينة من اليورانيوم إلى النظائر المكونة لها. ويستخدم أحيانًا مطياف الكتلة لالتقاط وتحديد أثر كميات الجزيئات في عينة ما، وهذا التطبيق يستخدم على نطاق واسع في علوم البيئة والعلوم الجنائية. ويكون الجهاز حساسًا جدًّا، بحيث يستطيع الباحثون فصل أيونات ذات كتل تختلف في جزء من عشرة آلاف جزء من واحد في المائة، ويتمكنون أيضًا من تحديد وجود جزيء واحد في عينة تحتوي على عشرة مليارات جزيء.

2–1 مراجعة

9. **أنبوب الأشعة المهبطية** صف كيف يعمل أنبوب أشعة المهبط على تكوين حزمة إلكترونات؟
10. **المجال المغناطيسي** يحسب نصف قطر المسار الدائري لأيون في مطياف الكتلة بالعلاقة: $r=(1/B)\sqrt{2mV/q}$. استخدم هذه العلاقة لبيان كيف يعمل مطياف الكتلة على فصل الأيونات ذات الكتل المختلفة بعضها عن بعض.
11. **المجال المغناطيسي** باستعمال مطياف الكتلة الحديث يمكن تحليل الجزيئات التي تعادل كتلتها كتلة مائة بروتون. إذا تم إنتاج أيونات أحادية التأين من هذه الجزئيات باستخدام الجهد المسارع نفسه فكيف يجب أن يكون التغير في المجال المغناطيسي للمطياف بحيث تصطدم الأيونات بالفيلم؟
12. **نصف قطر المسار** يتحرك بروتون بسرعة $4.2\times10^{4}\ m/s$ لحظة مروره داخل مجال مغناطيسي مقداره 1.20 T. احسب نصف قطر مساره الدائري.
13. **الكتلة** تم تسريع حزمة ذرات أكسجين ثنائية التأين (2+) بتطبيق فرق جهد مقداره 232 V، وعندما عبرت مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 75 mT ، سلكت مسارًا منحنيًا نصف قطره 8.3 cm. أوجد مقدار كتلة ذرة الأكسجين.
14. **التفكير الناقد** بغض النظر عن طاقة الإلكترونات المستخدمة لإنتاج الأيونات لم يتمكّن تومسون مطلقًا من تحرير أكثر من إلكترون واحد من ذرة الهيدروجين. ما الذي استنتجه تومسون عن الشحنة الموجبة لذرة الهيدروجين؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء
Electric and Magnetic Fields in Space

على الرغم من أنك قد لا تدرك الموجات الكهرومغناطيسية إلا أنك تعتمد عليها يوميًّا. فبث الإشـارات من محطات الإذاعة والتلفزة، والأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض، وحتى تلك الموجات الصادرة عن المجرات البعيدة، تعدّ جميعها موجات كهرومغناطيسية. وتستخدم الموجات الكهرومغناطيسية أيضًا في منتجات استهلاكية شائعة مثل أفران الميكروويف، وأجهزة التحكم عن بُعد، والهواتف الخلوية وغيرها. وستتعلم في هذا الجزء عن المجالات التي تعمل بالموجات الكهرومغناطيسية، وكيفية إنتاج هذه الموجات واستقبالها.

الأهداف

- **تصف** كيف تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء.
- **تحل** مسائل تتضمن خصائص الموجات الكهرومغناطيسية.
- **تصف** العوامل المؤثرة في قدرة الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية لها طول موجي محدّد.
- **تحل** مسائل تتضمن انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في المواد العازلة للكهرباء.

المفردات

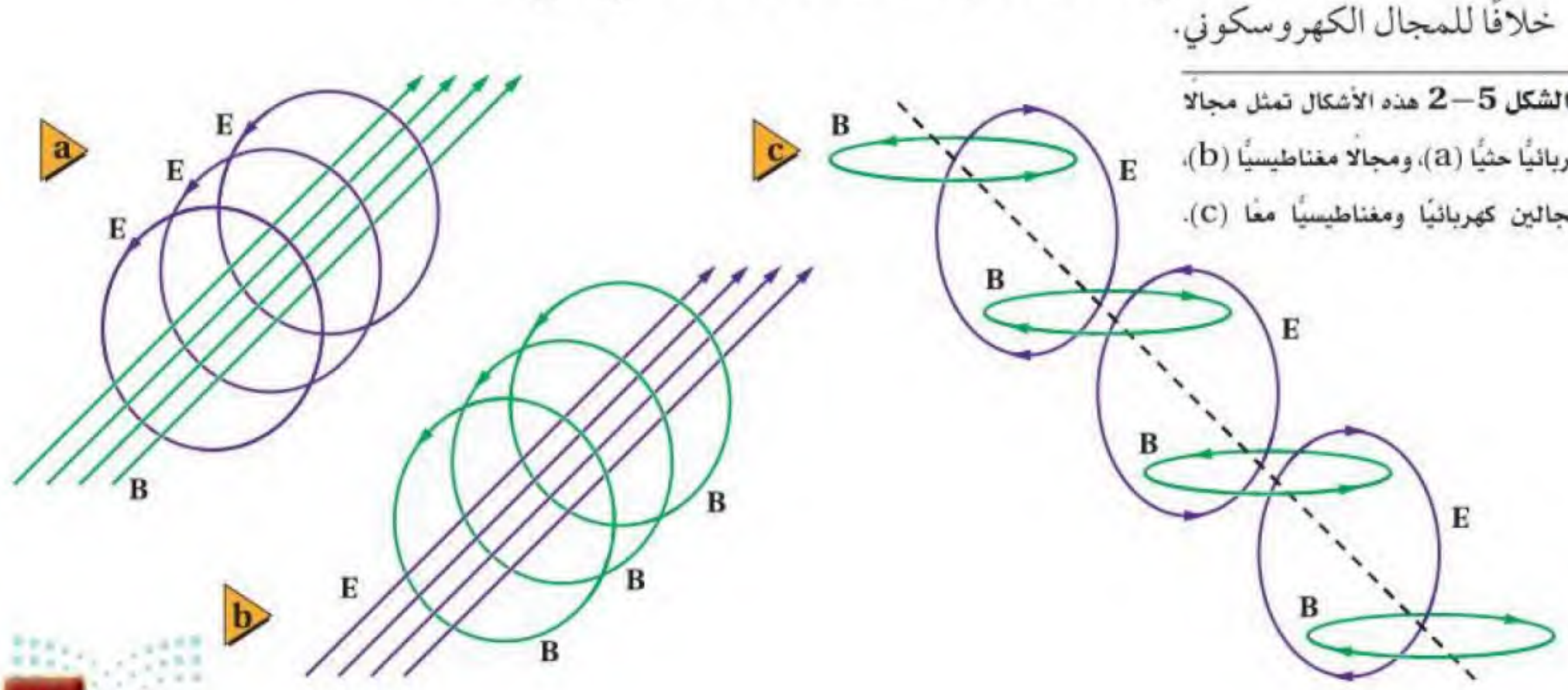
الموجات الكهرومغناطيسية
العوازل الكهربائية
الهوائي
الطيف الكهرومغناطيسي
الإشعاع الكهرومغناطيسي
الكهرباء الإجهادية
المستقبِل

الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

حدث تقدم كبير في فهم الموجات الكهرومغناطيسية خلال القرن التاسع عشر، وأدّت هذه التطورات إلى تطوير أجهزة وتقنيات جديدة كان لها أثر كبير في المجتمع الحديث.

سلسلة من الإنجازات في عام 1821م بينما كان العالم الدنماركي أورستيد يقدم عرضًا لطلابه لاحظ انحراف إبرة البوصلة عند اقترابها من سلك يسري فيه تيار كهربائي، وأدرك أن ملاحظته تعرض ربطًا أساسيًّا بين الكهرباء والمغناطيسية. وتوصل أورستيد إلى أن التيار المار في موصل يولد مجالاً مغناطيسيًّا، وأن التيار المتغير يولد مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا. ولقد أحدثت هذه الاكتشافات ثورة في الأوساط العلمية، وقاد إلى سيل من البحوث الجديدة.

وبعد مرور إحدى عشرة سنة على هذه التجارب، اكتشف كل من العالمين مايكل فارادي وجوزيف هنري - كل على حدة - الحث الكهرومغناطيسي. والحث الكهرومغناطيسي هو إنتاج مجال كهربائي بسبب مجال مغناطيسي متغير. ومن المثير للاهتمام أن المجالات الكهربائية الحثية تتولد حتى لو لم يكن هناك أسلاك. كما هو موضّح في **الشكل 5a–2**. لذا فإن المجال المغناطيسي المتغير يولد مجالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي الحثي تشكل حلقات مغلقة، كما هو موضّح في **الشكل 5a–2**؛ وذلك لأنه لا توجد شحنات عند النقاط التي تبدأ منها خطوط المجال، أو عند النقاط التي تنتهي فيها، خلافًا للمجال الكهروسكوني.



الشكل 5–2 هذه الأشكال تمثل مجالاً كهربائيًّا حثيًّا (a)، ومجالاً مغناطيسيًّا (b)، ومجالين كهربائيًا ومغناطيسيًّا معًا (c).

افـترض الفيزيائي الإسـكتلندي جيمس ماكسـويل في عـام 1860م أن عكس الحث صحيح أيضًا؛ فالتغير في المجال الكهربائي يولد مجالاً مغناطيسيًّا متغيّرًا. وهذا موضّح في **الشكل 5b–2**. واقترح ماكسويل أيضًا أن الشحنات الكهربائية ليست ضرورية؛ فالمجال الكهربائي المتغير وحده يمكن أن يولد مجالاً مغناطيسـيًّا. ثم توقع ماكسـويل أن كلًّا من الشحنات المتسارعة والمجالات المغناطيسـية المتغيرة تولد مجالات كهربائية ومغناطيسية تتحرك معًا في الفضاء.

ويسمَّى المجالان المغناطيسي والكهربائي المنتشران معًا في الفضاء **الموجات الكهرومغناطيسية**، أو موجة EM. ويوضح **الشكل 5c–2** اتجاهات المجالات التي تكوّن موجة كهرومغناطيسية. وفي عام 1887م أثبت الفيزيائي الألماني هنريش هرتز عمليًّا صحة نظرية ماكسويل. كما أدت نظرية ماكسويل إلى وضع تصور كامل للكهرباء والمغناطيسية.

خصائص الموجات الكهرومغناطيسية وجد مؤخرًا أن سرعة الموجة الكهرومغناطيسـية تساوي تقريبًا $3.00\times10^{8}\ m/s$، ويرمز لها بالرمز c، وهي سرعة الضوء. وتنتقل الموجات الكهرومغناطيسـية- ومنها الضوء- في الفضاء بسرعة c. ويرتبـط كل من طول الموجة الكهرومغناطيسية وترددها وسرعتها بالعلاقة الآتية:

العلاقة بين الطول الموجي والتردد لموجة $\lambda = \frac{v}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي مقدار سرعتها مقسومًا على ترددها.

في هذه المعادلة يقاس الطول الموجي λ بوحدة m، وتقاس السرعة v بوحدة m/s، ويقاس الـتردد f بوحدة Hz. ولاحظ أن السرعة v لأي موجة كهرومغناطيسـية تنتقل في الفراغ تساوي سرعة الضوء c، ولذلك فإن العلاقة الخاصة بالموجة الكهرومغناطيسية تصبح:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

حيث $c = 3.00\times 10^{8}\ m/s$

لاحظ أن حاصل ضرب الطول الموجي في التردد لأي موجة كهرومغناطيسـية هو مقدار ثابت ويسـاوي c. ولذلك عندما يزداد الطول الموجي يقل الـتردد، والعكس صحيح. أي أن الموجة الكهرومغناطيسـية ذات الطول الموجي الكبـير لها تردد صغير، بينما الموجة الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي الصغير لها تردد كبير.

مسائل تدريبية

15. ما مقدار سرعة موجة كهرومغناطيسية في الهواء إذا كان ترددها $3.2\times10^{19}\ Hz$؟
16. ما طول موجة الضوء الأخضر إذا كان تردده $5.70\times10^{14}\ Hz$؟
17. ما طول موجة كهرومغناطيسية ترددها $8.2\times 10^{14}\ Hz$؟
18. ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي $2.2\times 10^{-2}\ m$؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية خلال مادة يمكن أن تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية خلال المادة أيضًا؛ فسقوط أشعة الشمس على كأس زجاجية بها ماء مثال على انتقال موجات الضوء خلال ثلاث مواد مختلفة؛ الهواء والزجاج والماء، وهي مواد غير موصلة للكهرباء، وتسمى **العوازل الكهربائية**. وتكون سرعة الموجة الكهرومغناطيسية خلال العازل دائمًا أقل من سرعتها في الفراغ، ويمكن حسابها بالعلاقة:

$$v = \frac{c}{\sqrt{K}}$$

في هذه المعادلة تقاس سرعة الموجة v بوحدة m /s، وتقاس سرعة الضوء c بوحدة m /s، وقيمتها تساوي 3.00×10^{8} m /s. أما ثابت العزل الكهربائي النسبي K فليس له وحدات. وفي الفراغ K=1.00000 وسرعة الموجة في الفراغ تساوي c. وفي الهواء K=1.00054، ولذلك تنتقل الموجة الكهرومغناطيسية في الهواء أبطأ قليلًا من c.

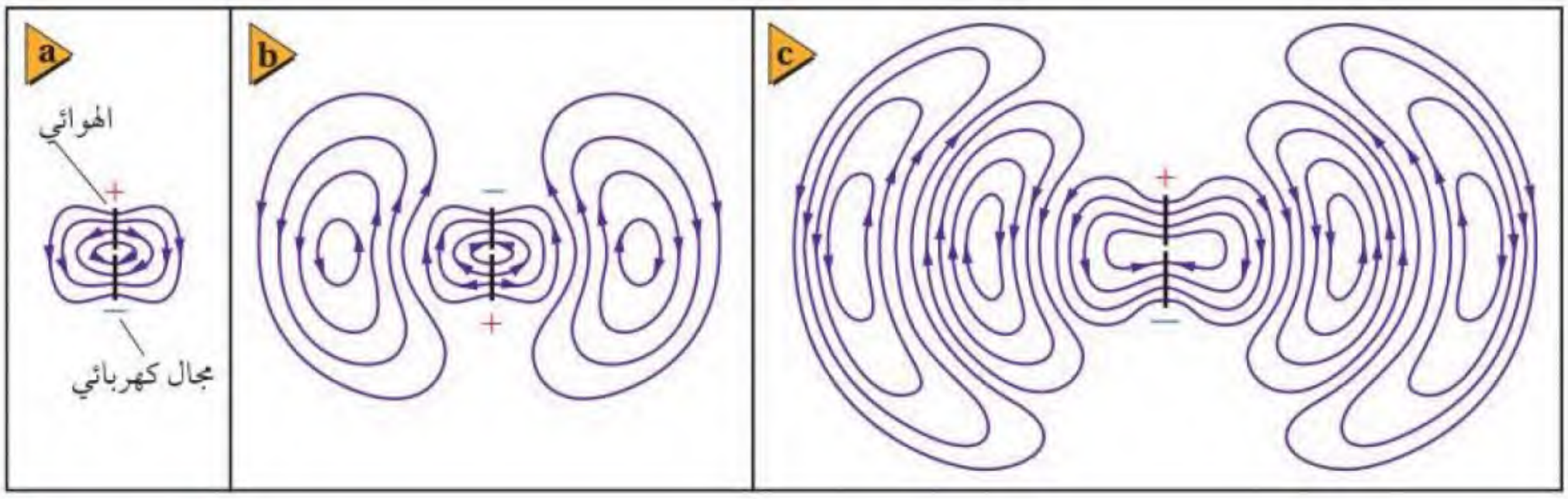
مسائل تدريبية

19. ما مقدار سرعة الموجة الكهرومغناطيسية المنتقلة في الهواء؟ استخدم c = 299792458 m /s في حساباتك.

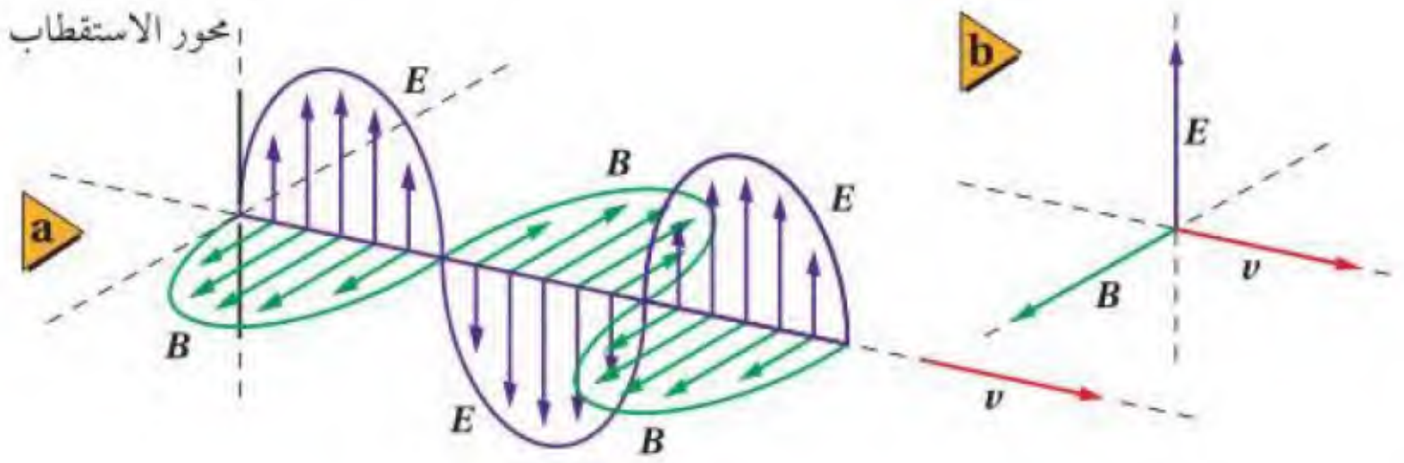
20. إذا كان ثابت العزل الكهربائي للماء 1.77 فما مقدار سرعة انتقال الضوء في الماء؟

21. إذا كانت سرعة الضوء خلال مادة 2.43×10^{8} m /s، فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للمادة؟

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية كما في **الشكل 6–2**. والهوائي هو سلك يتصل بمصدر تيار متناوب مصمّم لبث واستقبال الموجات الكهرومغناطيسية. ويولد المصدر المتناوب فرق جهد متغيرًا في الهوائي الذي يهتز بتردد مساوٍ لتردد مصدر التيار المتناوب، ويولّد فرق الجهد المتناوب هذا مجالاً كهربائيًّا متغيرًا مماثلاً؛ منتشرًا ومبتعدًا عن الهوائي. والمجال الكهربائي المتغير يولد أيضًا مجالاً مغناطيسيًّا متغيرًا متعامدًا مع الصفحة. وعلى الرغم من أن المجال المغناطيسي غير ظاهر في **الشكل 6–2** إلا أنه ينتشر مبتعدًا عن الهوائي. وينشأ عن ترابط المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية معًا موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء بسرعة الضوء.



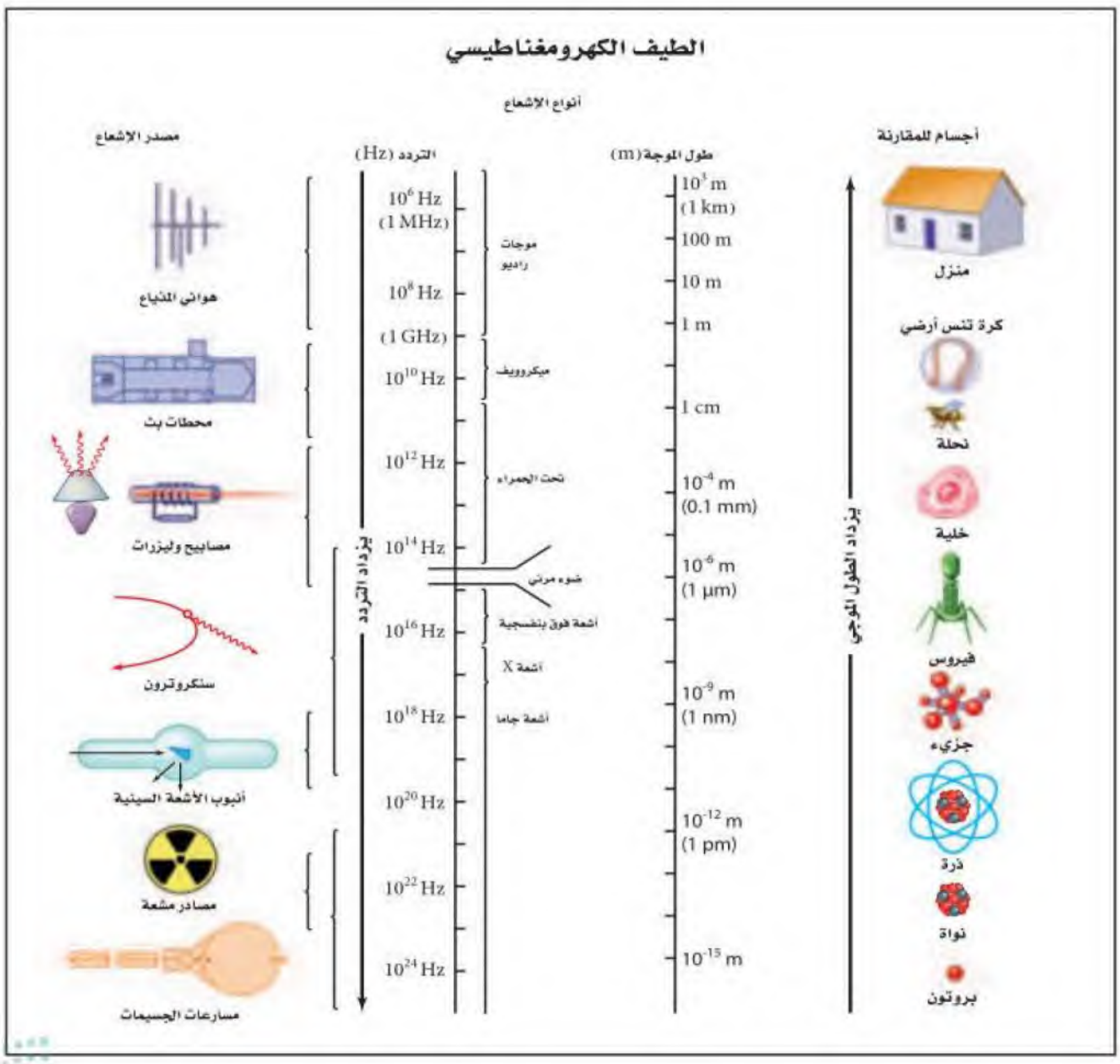
■ **الشكل 6–2** يولّد مصدر التيار المتناوب الموصول بالهوائي فرق جهد متغيرًا في الهوائي، وهذا التغير في فرق الجهد يولد مجالًا كهربائيًا متغيرًا (**a**). يولد المجال الكهربائي المتغير مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا. والمجال المغناطيسي المتولد بدوره يولد مجالاً كهربائيًا. وتستمر هذه العملية فتنتشر الموجة الكهرومغناطيسية مبتعدة عن الهوائي. (**b**) و (**c**).



■ **الشكل 7–2** أجزاء من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين بواسطة الهوائي قد تبدو في لحظة ما، كما هو موضح (a). لاحظ أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامدان، وعموديان على اتجاه سرعة الموجة v (b).

لو أمكن رؤية الموجات الكهرومغناطيسية القادمة فستظهر المجالات المتغيرة، كما في **الشكل 7–2**. حيث يتذبذب المجال الكهربائي إلى أعلى وإلى أسفل، بينما يتذبذب المجال المغناطيسي بزوايا قائمة مع المجال الكهربائي. وكلا المجالين متعامدان على اتجاه انتشار الموجة. لاحظ أن الموجة الكهرومغناطيسية الناتجة بواسطة الهوائي مستقطبة؛ وذلك لأن المجال الكهربائي موازٍ لموصل الهوائي.

■ **الشكل 8–2** المخطط يبين أنواعًا من الإشعاعات الكهرومغناطيسية وأطوالها الموجية.



مسألة تحفيز

يشكّل الضوء المرئي جزءًا بسيطًا فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. وأطوال الموجات لبعض ألوان الضوء المرئي موضحة في **الجدول 1–2**.

1. أي ألوان الضوء له أكبر طول موجي؟
2. أي الألوان ينتقل أسرع في الفراغ؟
3. تحيد الموجات ذات الطول الموجي الأكبر حول الأجسام التي تعترض مساراتها أكثر من الموجات ذات الطول الموجي الأقصر. أي الألوان سيحيد بدرجة أكبر، وأيها سيحيد بدرجة أقل؟
4. احسب مدى التردد لكل لون من ألوان الضوء المعطاة في **الجدول 1–2**.

الجدول 1–2

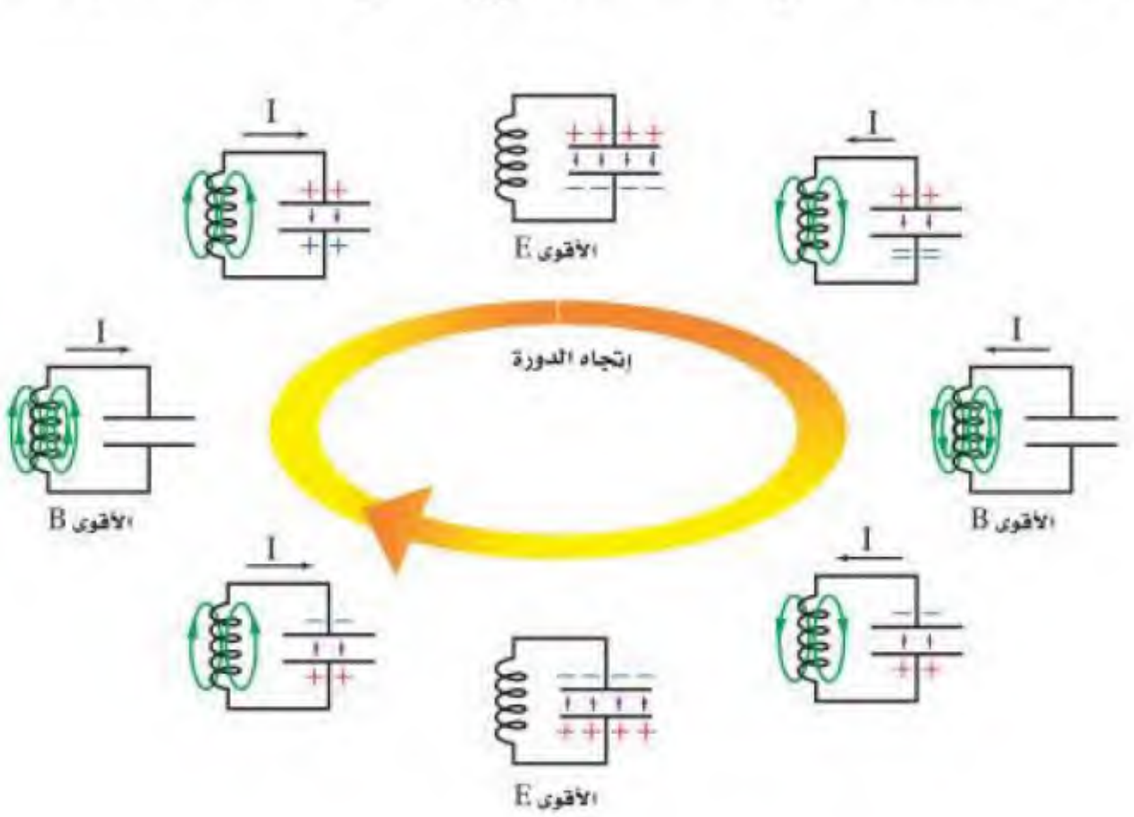
أطوال موجات الضوء المرئي

اللون	الطول الموجي (nm)
نيلي-بنفسجي	390 حتى 455
أزرق	455 حتى 492
أخضر	492 حتى 577
أصفر	577 حتى 597
برتقالي	597 حتى 622
أحمر	622 حتى 700

توليد الموجات الكهرومغناطيسية
Producing Electromagnetic Waves

الموجات من مصدر متناوب تعلمت أنه يمكن لمصدر متناوب متصل بهوائي أن يرسل موجات كهرومغناطيسية، ويكون تردد الموجة مساويا لتردد دوران مولد التيار المتناوب AC، ويُحدد بـ 1 kHz تقريبًا. ويوضح **الشكل 8–2** مدى الترددات والأطوال الموجية التي تشكل جميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وتسمى **الطيف الكهرومغناطيسي**.

الموجات الناتجة عن ملف ومكثف كهربائي (دائرة RC) الطريقة الشائعة لتوليد موجات كهرومغناطيسية ذات ترددات كبيرة هي استخدام ملف (محث) ومكثف كهربائي يتصلان معًا على التوالي. فإذا شحن المكثف ببطارية فسوف يخزن فيه شحنات كهربائية وبذلك يُنتج فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه مجالاً كهربائيًا. وعند فصل البطارية يفقد المكثف شحنة عن طريق تدفق الإلكترونات المختزنة فيه خلال الملف، مولدة مجالاً مغناطيسيًا. وعندما يفقد المكثف شحنته ينهار المجال المغناطيسي للملف، فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية، ويعاد شحن المكثف في اتجاه معاكس، وتتكرر العملية. وعند توصيل هوائي بالمكثف تُبث مجالات المكثف في الفضاء. ويوضّح **الشكل 9–2** دورة اهتزازية كاملة.



الشكل 9–2 يوضح الشكل دورة اهتزازية كاملة لدائرة مكثف كهربائي وملف. ويحدد حجم كل من المكثف والملف عدد الاهتزازات كل ثانية للدائرة، والتي تساوي تردد الموجة الناتجة.

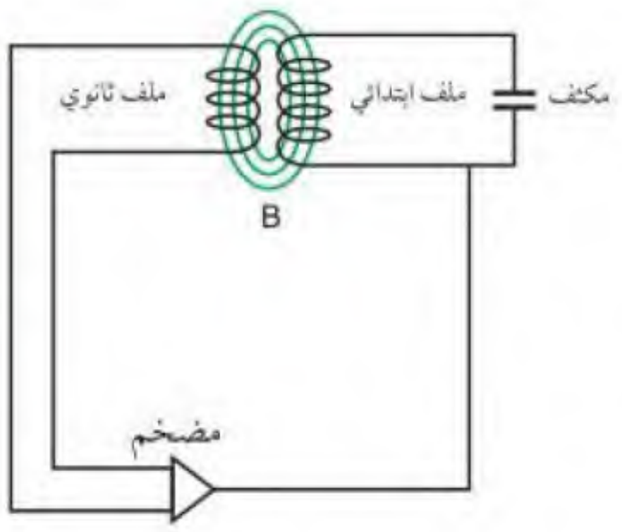
تطبيق الفيزياء

الترددات

تحدّد الوزارة المعنية في كل دولة موجة حاملة بترددات محددة لكل محطة من محطات الإذاعة أو التلفاز التي تبث من أراضيها. تبث المحطة عن طريق تغيير موجاتها الحاملة. وعند التقاط الموجة بالمذياع أو التلفاز تنفصل الموجة الحاملة بعيدًا، وتعالج المعلومات التي تحملها الموجة، بحيث يمكنك السماع أو المشاهدة.

الطاقة في دائرة المكثف والملف في دائرة الملف والمكثف، يحتوي كل من المجال المغناطيسي المتولد في الملف والمجال الكهربائي المتولد في المكثف على طاقة. عندما يكون للتيار قيمة عظمى يكون للطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي قيمة عظمى، وعندما يصبح التيار صفرًا يكون للمجال الكهربائي في المكثف قيمة عظمى، وتصبح الطاقة جميعها ممثلة في المجال الكهربائي. وتكون الطاقة الكلية للدائرة (مجموع طاقتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي والطاقة الحرارية الضائعة في الأسلاك، والطاقة المحمولة بعيدًا بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المتولدة) مقدارًا ثابتًا. وتسمى الطاقة التي تحمل أو تشع على شكل موجات كهرومغناطيسية **الإشعاع الكهرومغناطيسي**.





الشكل 10–2 في المحول تكون الذبذبة المكبرة الناتجة عن الملف الثانوي في حالة رنين مع دائرة الملف والمكثف، وتحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات.

وإذا زودت دائرة الملف والمكثف بنبضات جهد بترددات مناسبة فإنها تحافظ على استمرار حدوث الاهتزازات في الدائرة. وهناك طريقة لعمل ذلك تتمثل في إضافة ملف آخر إلى الدائرة لتشكيل محول كهربائي. ففي المحول الموضّح في **الشكل 10–2** يزداد التيار المتناوب الحثي الناتج في الملف الثانوي بواسطة مضخم، ويعاد إلى الملف والمكثف. في هذا النوع من الدوائر يمكن توليد ترددات تصل إلى 400 MHz تقريبًا.

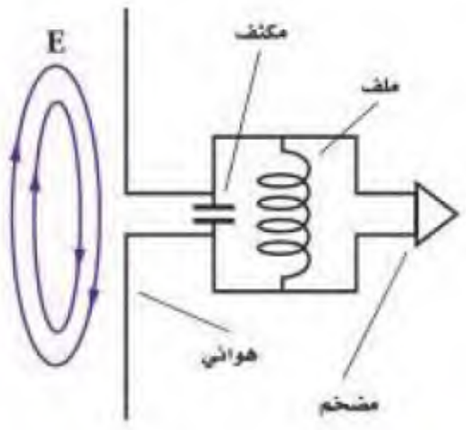
الموجات الناتجة يمكن زيادة تردد الاهتزاز الناتج بواسطة دائرة الملف والمكثف عن طريق تقليل حجم كل من الملف والمكثف المستخدمين. ومع ذلك لا تستخدم الملفات أو المكثفات المنفردة للترددات التي تزيد على 1 GHz؛ حيث يستخدم التجويف الرنان لتوليد الموجات الميكروية ذات الترددات الكبيرة التي تتراوح بين 1 GHz و 100 GHz. والتجويف الرنان صندوق على شكل متوازي مستطيلات يعتمد في عمله على الملف والمكثف معًا. ويحدد حجمُ الصندوق ترددَ الاهتزاز. فأفران الميكروويف مثلاً لها تجاويف رنانة تولد موجات ميكروويف تستخدم في طهي الطعام.

ولتوليد أعلى تردد للموجات تحت الحمراء يجب تصغير حجم التجويف الرنان ليصبح بحجم الجزيء. فالإلكترونات المهتزة التي تولد موجات تحت حمراء هي في الحقيقة ضمن أبعاد الجزيئات. أما موجات الضوء المرئي والموجات فوق البنفسجية فتتولد بواسطة الإلكترونات الموجودة داخل الذرات. وأما الأشعة السينية X-ray وأشعة جاما فتنشآن عن مسارعة الشحنات في نوى الذرات. وجميع الموجات الكهرومغناطيسية تنشأ عن مسارعة الشحنات، وتنتشر بسرعة الضوء.

الموجات الناتجة بالكهرباء الإجهادية لا تعدّ الملفات والمكثفات الطريقة الوحيدة لتوليد الجهود المتذبذبة. فبلورات الكوارتز تتشوّه عند تطبيق جهد كهربائي عبرها، وتعرف هذه الخاصية باسم **الكهرباء الإجهادية**. فعند تطبيق جهد متناوب على مقطع عرضي من بلورة كوارتز تنتج اهتزازات مستمرة. وتكون العلاقة بين سمك البلورة وتردد الاهتزازة خطية عكسية، تمامًا كما في اهتزاز قطعة فلزية عند ثنيها وتركها تهتز؛ حيث يمكن قطع بلورة الكوارتز وتطبيق جهد معين عليها، فتتشوه وتبدأ في الاهتزاز بترددات محدّدة. وتولد خاصية الكهرباء الإجهادية أيضًا قوة دافعة كهربائية عندما تتشوه البلورة. ولأن هذه القوة الدافعة الكهربائية تنتج بتردد مساوٍ لتردد البلورة نفسه، فإنه يمكن تضخيمها وإعادتها إلى البلورة؛ للمحافظة على استمرار الاهتزاز. وتستخدم بلورات الكوارتز عادة في الساعات؛ لأن ترددات اهتزازاتها ثابتة تقريبًا.

استقبال الموجات الكهرومغناطيسية
Reception of Electromagnetic Waves

الآن وبعد أن عرفت كيفية توليد الموجات الكهرومغناطيسية وبثها، كيف تتوقع طريقة استقبالها؟ إن التقاط هذه الموجات يتطلب هوائيًا. كما هو موضح في **الشكل 11–2**، حيث تعمل المجالات الكهربائية للموجات على تسارع إلكترونات المادة المكونة للهوائي، ويكون التسارع أكبر ما يمكن عندما يوجه الهوائي في اتجاه استقطاب الموجة نفسه. وهذا يحدث عندما يكون الهوائي موازيًا لاتجاه المجالات الكهربائية للموجة؛ حيث يتذبذب فرق الجهد بين طرفي الهوائي بتردد الموجة الكهرومغناطيسية نفسه. ويصبح للجهد قيمة عظمى عندما يكون طول الهوائي مساوٍ لنصف الطول الموجي للموجة التي نريد التقاطها. لذلك يصمم طول الهوائي بحيث يساوي نصف الطول الموجي للموجة التي يفترض التقاطها. فالهوائي المصمم لالتقاط موجات الراديو وموجات التلفاز أطول كثيرًا من الهوائي المصمم لالتقاط موجات الميكروويف. إن استخدام هوائي مكون من سلك واحد يمكننا من الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية إلا أن استخدام عدة أسلاك أكثر فاعلية؛ حيث يتكون هوائي التلفاز غالبًا من سلكين أو أكثر تفصل بينهما مسافة تعادل ربع الطول الموجي للموجة. وتكوِّن المجالات الكهربائية الناتجة عن الأسلاك منفردة أنماط تداخل بنّاء تعمل على زيادة قوة الإشارة.



الشكل 11–2 المجالات الكهربائية المتغيرة لإشارة محطة البث الإذاعية تعمل على مسارعة الإلكترونات الموجودة في الهوائي. ثم تحلل المعلومات المحمولة على الموجة الإذاعية وتضخمها ثم تستخدم لتشغيلها في سماعة أو مكبر صوت.

من المهم أن تعرف أن جميع الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص الانعكاس والانكسار والحيود. ولذلك لا نستغرب أن الأطباق اللاقطة تعكس الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة جدًّا، تمامًا كما تعكس مرايا القطع المكافئ موجات الضوء المرئي. وتكون مساحة سطح الطبق اللاقط كبيرة؛ وذلك لجمع الموجات وتركيزها، وهذه المساحة تجعله قادرًا على التقاط موجات الراديو الضعيفة. ويعمل الطبق اللاقط على عكس الموجات التي يستقبلها، وتركيزها على قطعة أو جهاز يسمى اللاقط. ويثبت اللاقط بثلاثة قوائم فوق الطبق. ويحتوي اللاقط على هوائي قصير ثنائي القطب، يرسل إشارات إلى المستقبل وهو جهاز يتكون من جهاز هوائي ودائرة ملف ومكثف وكاشف لفك شفرة الإشارة وتحليلها بالإضافة إلى مضخم.

اختيار الموجات هناك العديد من محطات الإذاعة والتلفاز التي تبث الموجات الكهرومغناطيسية المختلفة في الوقت نفسه. فإذا أردنا أن نستقبل المعلومات التي تبث من محطة ما فإنه يجب اختيار الموجات الخاصة بهذه المحطة، ولاختيار موجات ذات تردد معين (ورفض باقي الموجات) يستخدم الموالف؛ وهو دائرة مكثف وملف متصل بهوائي. وتعدل السعة الكهربائية للمكثف حتى يصبح تردد اهتزازات الدائرة مساويًا لتردد الموجة المطلوبة. وعندما يحدث ذلك تعمل الموجات ذات التردد المطلوب اهتزازات محددة للإلكترونات في الدائرة.

الطاقة من الموجات تحمل الموجات الطاقة والمعلومات؛ فالموجات التي ترددتها ضمن منطقة الأشعة تحت الحمراء وأشعة الميكروويف تعمل على مسارعة الإلكترونات في الجزيئات؛ حيث تتحول طاقة الموجات إلى طاقة حرارية في الجزيئات. وهذه هي طريقة عمل فرن الميكروويف في تسخين الطعام.

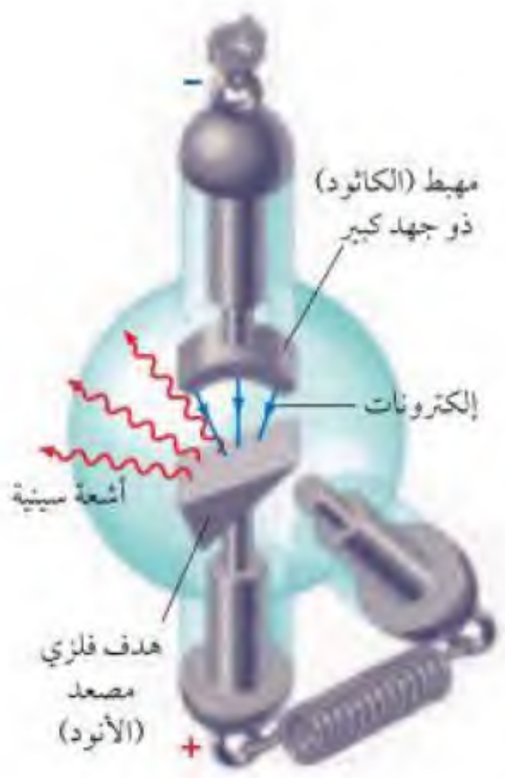
ويمكن لموجات الضوء أيضًا نقل الطاقة إلى الإلكترونات؛ فمثلًا يستفاد من هذه الحقيقة في الأفلام الفوتوجرافية؛ حيث تعمل الطاقة في موجات الضوء على إحداث تفاعلات كيميائية داخل الفيلم، فتكون النتيجة تسجيلًا دائمًا للضوء القادم من الجسم، والساقط على الفيلم. وفي الترددات الكبيرة – ومنها الأشعة فوق البنفسجية UV – تسبب الإشعاعات حدوث العديد من التفاعلات الكيميائية، ومنها تلك التي تحدث في الخلايا الحية وتسبب حروق الشمس وسمرة الجلد، والأمراض الخطيرة أحيانًا.

الربط مع الأحياء

الأشعة السينية X Rays

أســقط الفيزيائي الألماني وليام رونتجن عام 1895م إلكترونات خلال أنبوب مفرّغ مماثل للأنبوب الموضّح في **الشــكل 12–2**. واســتخدم فرق جهد كبيرًا جــدًّا خلال الأنبوب لإكســاب الإلكترونات طاقات حركية كبيرة. وعند اصطدام الإلكترونات بهدف فلزي (الأنود) داخل الأنبوب لاحظ رونتجن توهج شاشــة فوسفورية قريبة. واستمر التوهج حتى عند وضع قطعة خشــب بين الأنبوب والشاشة، فاستنتج رونتجن أن هناك نوعًا من الأشعة ذات نفاذية كبيرة خرجت من الأنبوب.

ولأن رونتجن لم يعرف هذه الإشعاعات الغريبة فقد سماها الأشعة السينية. وبعد أسابيع قليلة لاحظ رونتجن أن الشاشة الفســفورية أصبحت معتمة بسبب الأشعة السينية، كما اكتشف أيضًا أن أنسجة الجسم اللينة كانت شفافة بالنسبة للأشعة السينية، في حين لا تنفذ الأشعة السينية من العظام. ولقد عمل صورة بالأشعة السينية لكف زوجته. وفي غضون أشهر استفاد الأطباء من الاستعمالات الطبية القيمة لهذه الظاهرة.



■ **الشكل 12–2** تنبعث الأشعة السينية عند اصطدام إلكترونات ذات طاقة كبيرة بهدف فلزي داخل أنبوب الأشعة السينية. ويمكن تغيير الهدف لإنتاج أشعة سينية بأطوال موجية مختلفة.

ومن المعلوم الآن أن الأشــعة الســينية هي موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير. وفي أنبوب الأشعة السينية تُسرّع الإلكترونات أولاً بواسطة فرق جهد كبير يصل إلى 20000 V، أو أكثر لإكسابها سرعات كبيرة جدًّا. وعندما تصطدم الإلكترونات بالمادة تتحول طاقاتها الحركية الكبيرة إلى موجات كهرومغناطيســية ذات تردد كبير تســمى الأشــعة السينية.

وتسارع الإلكترونات في أنابيب الأشعة السينية يشبه تسارعها في أنبوب الأشعة المهبطية كأنبوب تكوّن الصــور في التلفاز القديم CRT. فعندما تصطدم الإلكترونات بالســطح الداخلي لشاشــة التلفاز تتوقف فجأة مسببة توهج الفوسفور الملوّن. ويمكن لهذا التوقف المفاجئ للإلكترونات أيضًا توليد أشــعة ســينية ضارة، ولذلك يحتوي السطح الداخلي لشاشة التلفاز على مادة الرصاص لإيقاف الأشعة السينية وحماية المشاهدين.

2–2 مراجعة

22. **انتشار الموجات** وضــح كيف يمكــن للموجات الكهرومغناطيسية أن تنتشر في الفضاء؟
23. **التردد** ما تردد موجة كهرومغناطيسية طولها الموجي $1.5\times10^{-5}\ m$؟
24. **إشارات التلفاز** تحتوي هوائيــات التلفاز عادة على قضبان فلزية أفقية. اســتنادًا إلى هذه المعلومات ما اســتنتاجك حول اتجاهات المجالات الكهربائية في إشارات التلفاز؟
25. **تصميم الهوائي** لبعض قنوات التلفاز ترددات أقل من ترددات حزمة FM في المذياع، في حين أن قنوات أخرى لها ترددات أكبر كثيرًا. ما الإشارة التي تحتاج إلى هوائي أطول: القنــوات ذات الترددات الأقل، أم القنوات ذات الــترددات الأكبر؟ علل إجابتك.
26. **ثابت العــزل الكهربائــي** إذا كانت سرعة الضوء في مادة مجهولة هــي $1.98\times10^{8}\ m/s$ فما مقدار ثابت العزل الكهربائي للــمادة المجهولة، علمًا بأن سرعة الضــوء في الفــراغ تســاوي $3.00\times10^{8}\ m/s$ ؟
27. **التفكير الناقد** تُحجــب معظــم الأشــعة فــوق البنفسجية UV الناتجة عن الشمس بطبقة الأوزون في الغــلاف الجوي للأرض. وقد اكتشــف العلماء في الســنوات الأخــيرة أن طبقــة الأوزون فــوق القطــب الجنوبي وفــوق المحيط المتجمد الشــمالي أصبحت رقيقة. اســتخدم ما تعلمته عن الموجات الكهرومغناطيسية والطاقة لتوضح لماذا يشعر بعض العلماء بقلق بالغ من اســتنزاف طبقــة الأوزون؟

مختبر الفيزياء

حجب الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Wave Shielding

يتكون الطيف الكهرومغناطيسي من عدة أنواع من الإشعاعات الكهرومغناطيسية. ويمكن تصنيف هذه الإشعاعات وفق ترددتها أو أطوالها الموجية؛ فأشعة جاما الأكبر ترددًا والأكبر طاقةً، طولها الموجي يشكل جزءًا من النانومتر. والإشعاعات التي تلي أشعة جاما يزداد طولها الموجي (يقل كل من ترددها وطاقتها)، وهي على الترتيب: الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، موجات الميكروويف، وموجات الراديو. والعين البشرية يمكنها فقط رؤية الأطوال الموجية الواقعة ضمن مدى الضوء المرئي فقط ، بينما جميع الأشكال الأخرى للإشعاعات غير مرئية.مستقبلات الموجات الكهرومغناطيسية - كتلك الموجودة في المذياع والتلفاز - تكشف الموجات باستخدام الهوائي. ولأن كل جهاز كهربائي يغيّر مقدار التيار أو يعمل على تيار متناوب، يُصدر موجات كهرومغناطيسية؛ فالموجات المنبعثة من هذه المصادر يمكن أن تتداخل مع الإشارات المستقبلة المطلوبة. ولبعض المواد فاعلية في إيقاف أو حجب موجات الراديو. وسوف تستقصي في هذه التجربة قدرة المواد المختلفة على حجب موجات الراديو.

سؤال التجربة

ما المواد التي تحجب الموجات الكهرومغناطيسية (موجات الراديو)؟

الأهداف

- **تجرب** مواد مختلفة لمعرفة فاعليتها في حجب الموجات الكهرومغناطيسية.
- **تلاحظ وتستنتج** أنواع المواد التي تحجب موجات الراديو.
- **تجمع وتحلل** بيانات عن أنواع الحجب.

احتياطات السلامة



- **استخدم دائمًا نظارة واقية ومعطفًا.**
- **البس القفازين عند ثني سلك الشاشة أو حمله.**
- **كن حذرًا عند استعمال الدبابيس لتجنب خدش الجلد.**



المواد والأدوات

مذياع AM-FM صغير يعمل بالبطارية، صندوقان صغيران من الكرتون، صندوق فلزي أو علبة بغطاء، ورق ألومنيوم، أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي (كالمستخدمة في حماية قطع الحاسوب)، أسلاك مشبكة، شريط لاصق، قفازات جلدية، مكبس.

الخطوات

1. غلف السطح الخارجي لأحد الصندوقين بورق الألومنيوم وغلف الغطاء وحده بحيث يمكن إزالته ودفعه بسهولة.
2. حضر صندوقًا مصنوعًا من أسلاك مشبكة. وذلك بطيّ قطعة منها، بحيث تصبح على هيئة صندوق له أربعة أوجه ومفتوح الطرفين. استخدم المكبس لتثبيت نهايات قطعة الأسلاك المشبكة بعضها ببعض، وتأكد أن الصندوق واسع وكبير بحيث يمكن إدخال المذياع فيه. ثم اقطع جزءًا من الأسلاك المشبكة بحيث تغلق بها أحد طرفي الصندوق المفتوح بإحكام، ثم استخدم قطعة أخرى من الأسلاك المشبكة لتغلق الطرف الآخر للصندوق بحيث يصبح كالباب يمكن فتحه أو إغلاقه.
3. شغّل المذياع ووالفه مع أقوى إشارة من محطة AM. دوّن تردد المحطة؛ حيث يمكنك معرفة التردد من خلال مؤشر المذياع أو من خلال الاستماع إلى بث المحطة؛ فقد يذكر التردد.

جدول البيانات							
الحزمة	التردد (Hz)	الحاجب	الملاحظات	الحزمة	التردد (Hz)	الحاجب	الملاحظات
AM		ذراع شخص		FM		ذراع شخص	
AM		صندوق كرتون		FM		صندوق كرتون	
AM		صندوق كرتون مغطى بألومنيوم		FM		صندوق كرتون مغطى بألومنيوم	
AM		صندوق الأسلاك المشبكة		FM		صندوق الأسلاك المشبكة	
AM		صندوق فلزي		FM		صندوق فلزي	
AM		أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي		FM		أكياس تحمي من التفريغ الكهربائي	

4. ضُمَّ المذياع إلى صدرك وأحطه بذراعيك، وأهمل انخفاض الصوت؛ لأنك تغطي السماعة. كيف تأثر استقبال المذياع للإشارة بذلك؟ دوّن ملاحظاتك.
5. ضع المذياع داخل صندوق الكرتون، وضع غطاء الصندوق، وأصغ إلى المذياع هل تأثر استقباله للإشارة؟ ودوّن ملاحظاتك.
6. كرر الخطوة 5 أربع مرات أخرى باستخدام الصندوق المغطى بالألومنيوم، والصندوق المصنوع من الأسلاك المشبكة (المغلق الباب)، والصندوق الفلزي (المغلق الغطاء) والكيس الذي يحمي من التفريغ الكهربائي على الترتيب.
7. غيّر مؤشر المذياع إلى حزمة FM، ووالفه مع أقوى محطة. ودوّن تردد المحطة. ثم كرر الخطوات 6-4.

التحليل

1. **التلخيص** أي المواد أكثر فاعلية لحجب موجات الراديو؟
2. **استخدام الأرقام** احسب الطول الموجي لكل تردد استخدمته في المذياع. وتذكر أن $c = f\lambda$، حيث c سرعة الموجات الكهرومغناطيسية وتساوي 3.00×10^8 m /s
3. **قارن** ما العلاقة بين الطول الموجي للموجة المستخدمة في المذياع واتساع الفتحة أو الفتحات في المواد المستخدمة لحجب موجات الراديو؟
4. **تفسير البيانات** ما الصفات المشتركة بين المواد التي تعمل على حجب موجات الراديو؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **اشرح** قدم شرحًا حول ما قد يحدث للمجالات الكهربائية والمغناطيسية لموجات الراديو التي منعت من الوصول إلى المذياع باستخدام المواد الحاجبة.
2. **استنتج** لماذا لم تكن تغطية المذياع بذراعيك فعّالة في إيقاف موجات الراديو؟
3. **استخدم التفسير العلمي** تمتص مياه المحيط موجات الراديو وتحدّ من اختراقها بحيث تصل إلى عمق يساوي طول الموجة تقريبًا تحت السطح. وبسبب ذلك تستخدم موجات لها ترددات صغيرة جدًّا Hz (80–40) للتواصل مع الغواصات تحت الماء. لماذا قد يكون موقع محطة إرسال الموجات الراديوية ذات القدرة العالية والمستخدمة للاتصال بغواصة ما موجودًا في منطقة نائية بعيدة عن المحيط *(مساعدة: قدر طول الهوائي المستخدم إذا كان طوله يساوي نصف الطول الموجي)*.

التوسع في البحث

كيف يكون حجم الثقوب في الأسلاك الفلزية المشبكة الموضوعة على باب فرن الميكروويف مقارنة بطول موجة الميكروويف التي ترددها 2.4 GHz؟

الفيزياء في الحياة

افترض أنك تريد إرسال بعض الصور أو المعلومات المخزّنة على القرص المغناطيسي لحاسوبك إلى صديقك، فما الذي يتعين عليك عمله لحماية القرص من الموجات الكهرومغناطيسية خلال الإرسال؟

التقنية والمجتمع

الهواتف الخلوية Cellular Phones

هل لديك هاتف خلوي؟ كان الهاتف الخلوي (الجوال) في الماضي القريب نادر الاستعمال وباهظ الثمن. أما الآن فقد أصبح شائعًا ومتوافرًا، ويستخدمه معظم الناس.

شبكات الجوال الخلوي أخذ الهاتف الخلوي هذا الاسم من طريقة تقسيم الشركات للمدن إلى مناطق صغيرة تسمى الخلايا، ولكل خلية شكل سداسي خلال شبكة سداسية كبيرة. وتكون مساحة الخلايا عادة 26 كيلومترًا مربعًا، وتتغير وفق طبيعة المنطقة، وعدد مالكي الأجهزة الخلوية في المنطقة. ويوجد في كل خلية محطة أساسية تتكون من برج وصناديق أو غرف تحتوي على معدات وأجهزة راديوية. عندما تجري مكالمة فإنك تُرسل الإشارة من هاتفك إلى المحطة الأساسية الواقعة في خليتك، ثم ترسل هذه الإشارة من المحطة الأساسية المحلية إلى المحطة الأساسية الواقعة في المنطقة التي يكون فيها الشخص الذي اتصلت به. كيف تتواصل الهواتف الخلوية مع المحطات الأساسية؟

تستخدم الهواتف الخلوية موجات راديوية لإرسال المعلومات واستقبالها من المحطات الأساسية وإليها. ويعمل الهاتف الخلوي مرسلًا ومستقبلًا للموجات الراديوية في آن واحد، فيعمل جهاز الإرسال في الهاتف على تحويل الصوت إلى موجة مشفرة في صورة موجة ترددية راديوية، ثم يرسل الموجة الراديوية إلى أقرب محطة أساسية. تستقبل المحطة الأساسية الموجة المشفرة من هاتفك، وتحللها وترسلها إلى المحطة الأساسية المطلوبة في صورة موجات راديوية. وعند استقبال الموجة يعمل الهاتف على التقاط الموجة الراديوية وتحويلها إلى موجة صوتية مسموعة يمكنك فهمها. وباستخدام ترددين مختلفين (تردد للتحدث وتردد للسمع) يمكن لشخصين أن يتحدث أحدهما إلى الآخر في اللحظة نفسها.



ويمكن لأنظمة شركات الهواتف الخلوية من خلال محطاتها الأساسية أن تبث مكالمتك في جميع أنحاء البلاد، حتى إذا كنت أنت والشخص الذي تتحدث معه متحركين. فعندما تتحرك تنتقل من خلية إلى أخرى. وتعمل المحطات الأساسية آليًّا على إرسال الإشارة إلى المحطة الأساسية الصحيحة في النظام.

مخاطر استعمال الهواتف الخلوية لا يخلو استخدام الهاتف الخلوي من بعض المخاطر، فالتحدث بالهاتف في أثناء قيادة السيارة مثلاً خطر، ويسبب حوادث مرورية؛ وقد بينت الدراسات أن عدد الحوادث المرورية التي تحدث مع الأشخاص الذين يستخدمون الهاتف أثناء القيادة. تزيد أربع مرات على الحوادث التي تحدث مع الأشخاص الذين لا يستخدمون الهاتف أثناء القيادة. وحسب نظام المرور السعودي فإن استخدام الجوال أثناء القيادة مخالفة مرورية، لضمان مستوى السلامة المرورية على الطرق في المملكة العربية السعودية. وتضع بعض محطات الوقود ملصقات تحذر من استعمال الهاتف الخلوي؛ وذلك لأن الكهرباء الساكنة الناتجة عن الهاتف الخلوي قد تعمل على إشعال بخار الديزل المتصاعد.

وهناك خطر آخر محتمل، وهو أن الهاتف يبث موجات راديوية أثناء تشغيله، لذا تنبعث منه طاقة كهرومغناطيسية تعرف بالتردد الراديوي RF. وهناك بعض الأدلة على أن الهواتف الخلوية تبعث من الإشعاع قد يسبب مشاكل صحية خطيرة. وحتى الآن لم يُعرف يقينًا الآثار الصحية على المدى الطويل لاستعمال الهواتف الخلوية، إن وجدت. وتعمل منظمة الصحة العالمية على إجراء تقييم مستمر لهذه المخاطر، كما توصي المنظمة بالاستخدام الرشيد للهواتف الخلوية، وإجراء المكالمات الطويلة عبر الهواتف الثابت، وإبعاد الهاتف الخلوي عن الرأس قدر الامكان حين استخدامه (استخدام مكبر الصوت، أو السماعات السلكية أو سماعة البلوتوث) ، وتجنب النوم بالقرب منها.

الربط مع رؤية 2030

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

من أهداف الرؤية:

2.3.4 تعزيز السلامة المرورية.

التفكير الناقد

1. **استخدم التفسير العلمي** من أين اكتسبت الهواتف الخلوية هذا الاسم؟
2. **قارن** فيم تتشابه أجهزة المذياع AM/FM والهواتف الخلوية؟ وفيم تختلف؟
3. **التفكير الناقد** فسّر لماذا تعدّ المرسلات القليلة القدرة المستخدمة في الهواتف الخلوية، مهمة في المحافظة على إبقاء وزن الهواتف الخلوية خفيفة؟

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

2-1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة
Interactions of Electric and Magnetic Fields and Matter

المفردات

- النظير
- مطياف الكتلة

المفاهيم الرئيسة

- قيست النسبة بين شحنة الإلكترون وكتلته من قبل تومسون باستخدام الاتزان بين مجالين كهربائي ومغناطيسي في أنبوب أشعة المهبط. $\frac{q}{m} = \frac{v}{Br}$
- يمكن إيجاد كتلة الإلكترون بربط نتائج تومسون بقياسات ملّيكان لشحنة الإلكترون .
- يمكن أن يكون لذرات العنصر الواحد كتل مختلفة.
- يستخدم مطياف الكتلة المجالين الكهربائي والمغناطيسي لقياس كتل الذرات المتأينة والجزيئات.
- يمكن استخدام مطياف الكتلة أيضًا لتحديد نسبة شحنة أي أيون إلى كتلته. $\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$

2-2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء
Electric and Magnetic Fields in Space

المفردات

- الموجات الكهرومغناطيسية
- العوازل الكهربائية
- الهوائي
- الطيف الكهرومغناطيسي
- الإشعاع الكهرومغناطيسي
- الكهرباء الإجهادية
- المستقبِل

المفاهيم الرئيسة

- تقترن الموجات الكهرومغناطيسية بمجالين كهربائي ومغناطيسي متغيرين، ومتحركين معًا في الفضاء.
- الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها. $\lambda = \frac{v}{f}$

أما الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتشر في الفراغ فإن السرعة في المعادلة السابقة v تساوي سرعة الضوء c.

- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية ومنها الضوء في العوازل الكهربائية أقل من سرعتها في الفراغ.
- يستعمل التيار الكهربائي المتغير في هوائي الإرسال لتوليد موجات كهرومغناطيسية.
- ينقل الإشعاع الكهرومغناطيسي الطاقة أو المعلومات في الأوساط المادية أو الفراغ.
- الكهرباء الإجهادية خاصية للبلورات تسبب لها انحناء أو تشوهًا، وتولد اهتزازات كهربائية عند تطبيق فولتية خلالها.
- تحوّل الهوائيات المستقبلة الموجات الكهرومغناطيسية إلى مجالات كهربائية متغيرة في الموصلات.
- يمكن الكشف عن الموجات الكهرومغناطيسية من خلال القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الهوائي. ويمكن اختيار الترددات المحددة للموجات باستخدام دائرة رنين ملف ومكثف تعرف باسم الموالف.
- يحصل المستقبل على المعلومات من الموجات الكهرومغناطيسية.
- طول معظم الهوائيات الفعالة يعادل نصف الطول الموجي للموجة المراد التقاطها.
- يمكن لموجات الميكروويف، والأشعة تحت الحمراء، مسارعة الإلكترونات خلال الجزيئات، ولذلك يمكنها توليد طاقة حرارية.
- الأشعة السينية موجات كهرومغناطيسية ذات تردد كبير تنبعث باستخدام إلكترونات متسارعة وسريعة.

الفصل 2 التقويم

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: E، c، مجال مغناطيسي .



إتقان المفاهيم

29. ما مقدار كل من كتلة الإلكترون وشحنته؟ (1-2)

30. ما النظائر؟ (1-2)

31. ما الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي الحثي واتجاه المجال الكهربائي المتغير دائما؟ (2-2)

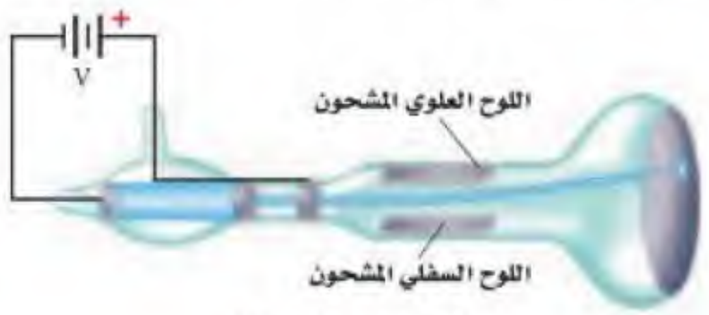
32. لماذا يجب استخدام مولد تيار متناوب لتوليد الموجات الكهرومغناطيسية؟ وإذا استخدم مولد مستمر فمتى يمكنه توليد موجات كهرومغناطيسية؟ (2-2)

33. يبث سلك هوائي رأسي موجات راديو. ارسم الهوائي وكلاً من المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتولدين؟ (2-2)

34. ماذا يحدث لبلورة الكوارتز عند تطبيق فولتية خلالها؟ (2-2)

35. كيف تعمل دائرة استقبال الهوائي على التقاط موجة كهرومغناطيسية بتردد محدّد ورفض سائر الموجات الأخرى؟ (2-2)

36. تنطلق الإلكترونات في أنبوب تومسون من اليسار إلى اليمين، كما هو موضّح في **الشكل 13-2**. أي اللوحين سيشحن بشحنة موجبة لجعل حزمة الإلكترونات تنحرف إلى أعلى؟ (1-2)



الشكل 13-2

تطبيق المفاهيم

37. يستخدم أنبوب تومسون الموضح في المسألة السابقة المجال المغناطيسي لحرف حزمة الإلكترونات. ما اتجاه المجال المغناطيسي اللازم لحرف الحزمة إلى أسفل؟

38. بين أن وحدات **E/B** هي وحدات السرعة نفسها.

39. **الشكل 14-2** يبيّن الحجرة المفرغة في مطياف كتلة. إذا اختبرت عينة من غاز النيون المتأين في هذا المطياف فما اتجاه المجال المغناطيسي اللازم لجعل الأيونات تنحرف بشكل نصف دائري في اتجاه عقارب الساعة؟



الشكل 14-2

40. إذا تغيرت إشارة شحنة الجسيم في المسألة السابقة من الموجبة إلى السالبة فهل يتغير اتجاه أحد المجالين أو كليهما للحفاظ على الجسيمات دون انحراف؟ وضّح إجابتك.

41. أي من موجات الراديو، وموجات الضوء، والأشعة السينية له قيمة عظمى من:

a. الطول الموجي

b. التردد

c. السرعة

42. **موجات التلفاز** إذا كان تردد الموجات التي تبث على إحدى القنوات في التلفاز 58 MHz، بينما تردد الموجات على قناة أخرى 180 MHz فأي القناتين تحتاج إلى هوائي أطول؟

43. افترض أن عين شخص ما أصبحت حساسة لموجات الميكروويف، فهل تتوقع أن تكون عينه أكبر أم أصغر من عينك؟ ولماذا؟

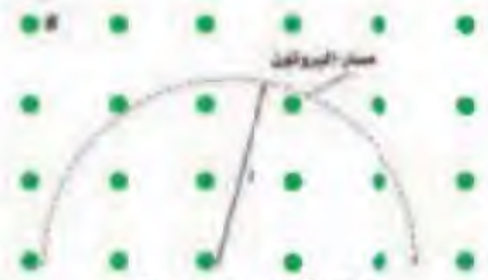
تقويم الفصل 2

إتقان حل المسائل

2–1 تفاعلات المجالات الكهربائية والمغناطيسية والمادة

44. تتحرك إلكترونـات بسرعة $3.6\times10^{4}\ m/s$ خلال مجال كهربائـي مقـداره $5.8\times10^{3}\ N/C$. ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن يتعرض له مسـار الإلكترونات حتى لا تنحرف؟

45. يتحرك بروتون في مسار دائري نصف قطره 0.20m في مجال مغناطيسي مقـداره 0.36T ، كما موضّح في **الشكل 15–2**. احسب مقدار سرعته؟



الشكل 15–2

46. دخل بروتون مجالاً مغناطيسـيًّا مقداره $6.0\times10^{-2}\ T$ بسرعة $5.4\times10^{4}\ m/s$. ما مقدار نصف قطر المسار الدائري الذي يسلكه؟

47. تسـارع إلكترون خلال فرق جهد مقداره 4.5kV. مـا مقدار المجال المغناطيسي الـذي يجب أن يتحرك فيه الإلكترون لينحرف في مسـار دائري نصف قطره 5.0 cm؟

48. حصلنا على المعلومات الآتية من مطياف الكتلة حول ذرات صوديوم ثنائية التأين (2+):
$q = 2(1.60\times10^{-19}C)$، $B = 8.0\times10^{-2}T$،
$r = 0.077\ m$ ، و $V = 156\ V$
احسب كتلة ذرة الصوديوم.

49. تحرك جسـيم ألفا كتلته $6.6\times10^{-27}\ kg$ وشـحنته 2+ في مجال مغناطيسي مقداره 2.0 T فسـلك مسارًا دائريًّا نصف قطـره 0.15 m. ما مقدار كل مما يأتي؟

a. سرعة الجسيم.

b. طاقته الحركية.

c. فرق الجهد اللازم لإنتاج هذه الطاقة الحركية.

50. استخدم مطياف كتلة لتحليل كربون 12 يحتوي على جزيئات كتلتها تعادل 175×10^{3} من كتلة البروتون. ما النسـبة اللازمة للحصول على عينة من الجزيئات تحتوي على الكربـون 12 ولا تظهر فيها أي جزيئات من الكربون 13؟

51. **نظائر السليكون** سـلكت ذرات السـليكون المتأينة المسـارات الموضّحة في **الشـكل 16–2** في مطياف الكتلـة. فإذا كان نصف القطـر الأصغر يتوافق مع كتلة البروتون 28، فما كتلة النظير الآخر للسليكون؟



الشكل 16–2

2–2 المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الفضاء

52. **موجات الراديـو** انعكسـت موجـات راديو طولها الموجـي 2.0 cm عن طبق قطع مكافـئ. ما طول الهوائي اللازم للكشف عنها؟

53. **التلفاز** نقلت إشارة تلفاز على موجات حاملة ترددها 66 MHz. فـإذا كانت أسـلاك الالتقاط في الهوائي تتباعـد $\frac{1}{4}\lambda$ فأوجـد البعد بين أسـلاك الالتقاط في الهوائي.

تقويم الفصل 2

54. **الماسح الضوئي لشريط الشيفرة** يستخدم الماسح الضوئي لشريط الشفرة مصدر ضوء ليزر طوله الموجي 650 nm. أوجد تردد مصدر شعاع الليزر.
55. ما طول الهوائي اللازم لاستقبال إشارة راديو ترددها 101.3MHz؟
56. موجة كهرومغناطيسية EM ترددها 100MHz تبث خلال كابل محوري ثابت العزل الكهربائي له 2.30. ما مقدار سرعة انتشار الموجات؟
57. **الهاتف الخلوي** يعمل جهاز إرسال هاتف خلوي على موجات حاملة ترددها 8.00×10^{8} Hz. ما طول هوائي الهاتف الأمثل لالتقاط الإشارة؟ لاحظ أن الهوائيات ذات الطرف الواحد تولد قوة دافعة كهربائية عظمى عندما يكون طول الهوائي فيه مساويًا ربع الطول الموجي للموجة.

مراجعة عامة

58. **المذياع** محطة إذاعية FM تبث موجاتها بتردد 94.5 MHz. ما مقدار طول الهوائي اللازم للحصول على أفضل استقبال لهذه المحطة؟
59. إذا كان طول هوائي هاتف خلوي 8.3cm فما مقدار التردد الذي يرسل ويستقبل عليه هذا الهاتف؟ لعلك تذكر من المسألة 57 أن الهوائيات ذات الطرف الواحد - ومنها المستخدم في الهاتف الخلوي - تولد قوة دافعة كهربائية عظمى عندما يكون طولها مساويًا ربع الطول الموجي للموجة التي ترسلها وتستقبلها.
60. سُرّع جسيم مجهول بتطبيق فرق جهد مقداره 1.50×10^{2} V. إذا دخل هذا الجسيم مجالاً مغناطيسيًّا مقداره 50.0 mT وسلك مسارًا منحنيًا نصف قطر 9.80 cm فما مقدار النسبة q/m؟

التفكير الناقد

61. **تطبيق المفاهيم** تستخدم العديد من محطات الشرطة الرادار لضبط السائقين الذين يتجاوزون السرعة المسموح بها. والرادار جهاز يستعمل إشارة كهرومغناطيسية ذات تردد كبير لقياس سرعة جسم متحرك، وتردد إشارة الرادار المرسلة معلوم، وعندما تنعكس هذه الإشارة المرسلة عن الجسم المتحرك تلتقط من قبل الرادار. ولأن الجسم متحرك بالنسبة إلى الرادار لذا يكون تردد الإشارة المستقبلة مختلفًا عن تردد الإشارة المرسلة. وتسمى هذه الظاهرة إزاحة دوبلر. فإذا كان الجسم متحركًا نحو الرادار كان تردد الموجة المستقبلة أكبر من تردد الموجة المرسلة. ما مقدار سرعة الجسم المتحرك إذا كان تردد الموجة المرسلة 10.525 GHz وكان للموجة المستقبلة إزاحة دوبلر مقدارها 1850 Hz؟

$$v_{\text{هدف}} = c\frac{f_{\text{دوبلر}}}{2f_{\text{بث}}}$$

حيث $v_{\text{هدف}}$: سرعة الهدف (m /s)

c سرعة الضوء (m /s)

$f_{\text{دوبلر}}$: إزاحة تردد دوبلر (Hz)

$f_{\text{بث}}$: تردد الموجة المرسلة (Hz)

62. **تطبيق المفاهيم** كتب طارق قصة خيال علمي تسمى (الرجل الخفي)، وفيها يشرب الرجل جرعة دواء فيصبح غير مرئي. ثم يستعيد طبيعته مرة أخرى. وضح لماذا لا يستطيع الرجل غير المرئي الرؤية؟
63. **تصميم تجربة** إذا طلب إليك أن تصمم مطياف كتلة باستخدام المبادئ التي نوقشت في هذا الفصل، لكن باستخدام أداة إلكترونية بدل الفيلم الفوتوجرافي. وتريد فصل الجزيئات الأحادية التأين (+1) ذات الكتل الذرية 175 بروتونًا عن الجزيئات ذات الكتل الذرية 176 بروتونًا، وكانت المسافة الفاصلة بين الخلايا المتجاورة في الكاشف الذي تستخدمه 0.10mm، ويجب أن تُسرّع الجزيئات بتطبيق فرق جهد 5000 V على الأقل؛ حتى يتم الكشف عنها، فما قيم كل من V، B، r التي يجب أن تكون لجهازك؟

تقويم الفصل 2

الكتابة في الفيزياء

64. اكتــب تقريرًا في صفحة أو صفحتــين تَبيّن فيه عمل جهاز التحكم عــن بعد لكل من التلفــاز والفيديو وجهاز DVD. والذي يعمل بالأشعة تحت الحمراء. اشرح لمــاذا لا يحــدث تداخــل بين الأجهــزة عند اســتخدام جهاز التحكم عن بعد المتعدد الأغراض. يجب أن يحوي تقريرك مخططات وأشكالًا.

مراجعة تراكمية

65. سلك طوله 440 cm يحمل تيارًا مقداره 7.7 A عموديًّا على مجال مغناطيسي. فإذا كانت القوة المؤثرة في السلك 0.55N، فما مقدار المجال المغناطيسي؟ (فيزياء 2–3)

66. إذا حُرّك ســلك يمتد من الشــمال إلى الجنوب نحو الشرق داخل مجال مغناطيسي يتجه إلى أســفل نحو الأرض، فما اتجــاه التيار الحثي المتولد في الســلك؟ (الفصل 1)

اختبـار مقـنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. عندما يتحرك جسيم مشحون في مسار دائري فإن:

(A) القوة المغناطيسـية تكون موازية للسرعة المتجهة، وموجهة نحو مركز المسار الدائري .

(B) القوة المغناطيسـية قد تكون متعامـدة مع السرعة المتجهـة وموجهة بعيدًا عن مركز المسـار الدائري.

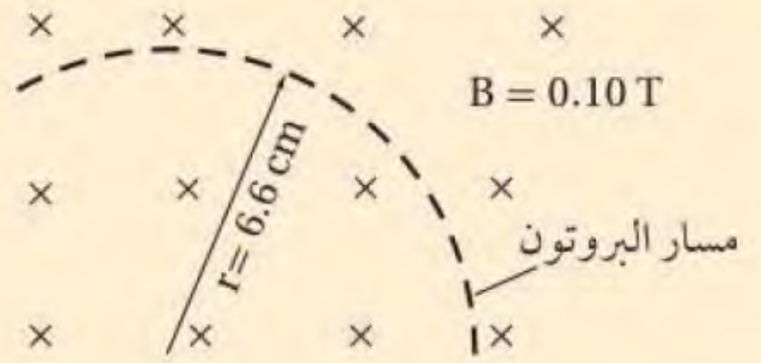
(C) القوة المغناطيسـية تكون دائـمًا موازية للسرعة المتجهة وموجهة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.

(D) القوة المغناطيسية تكون دائمًا عمودية على السرعة المتجهة وموجهة نحو مركز المسار الدائري.

2. إذا كان نصف قطر مسـار حركة بروتون يتحرك داخل مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.10T يسـاوي 6.6 cm فما مقدار السرعة المتجهة للبروتون؟

(A) 6.3×10^{5}m/s (C) 6.3×10^{7}m/s

(B) 2.0×10^{6} m /s (D) 2.0×10^{12} m/s



3. إذا كان ثابـت العزل الكهربائي للميـكا 5.4، فما مقدار سرعة الضوء في الميكا؟

(A) 3.2×10^{3} m /s (C) 5.6×10^{7} m /s

(B) 9.4×10^{4} m /s (D) 1.3×10^{8} m /s

4. تبث محطـة راديوية موجاتها بطول موجـي 2.87m ما مقدار تردد هذه الموجات؟

(A) 9.57×10^{-9} Hz (C) 1.04×10^{8} Hz

(B) 3.48×10^{-1} Hz (D) 3.00×10^{8} Hz

5. في أي الحالات الآتية لا تتولد موجة كهرومغناطيسية؟

(A) فولتية تيار مسـتمر DC يطبق على بلورة كوارتز لها خاصية الكهرباء الإجهادية.

(B) تيار يمر في سلك داخل أنبوب بلاستيكي.

(C) تيار يمر في دائرة ملف ومكثف يعد تجويفًا رنانًا في حجم الجزيء.

(D) إلكترونـات ذات طاقة كبيرة تصطـدم بالهدف الفلزي في أنبوب أشعة سينية.

6. تتحـرك حزمة بروتونات عموديًّا عـلى مجال مغناطيسي مقداره 0.45 T في مسـار دائري نصف قطره 0.52m، فإذا كانت كتلة كل بروتون تساوي 1.67×10^{-27}kg فما مقدار سرعة البروتونات المكونة للحزمة؟

(A) 1.2 m /s (C) 2.2×10^{7} m /s

(B) 4.7×10^{3} m /s (D) 5.8×10^{8} m /s

الأسئلة الممتدة

7. يتحرك ديوترون (نواة الديتيريوم) كتلته 3.34×10^{-27} kg وشحنته $+e$. في مسار دائري نصف قطره 0.0400m داخل مجال مغناطيسي مقداره 1.50T ، ما مقدار سرعته؟

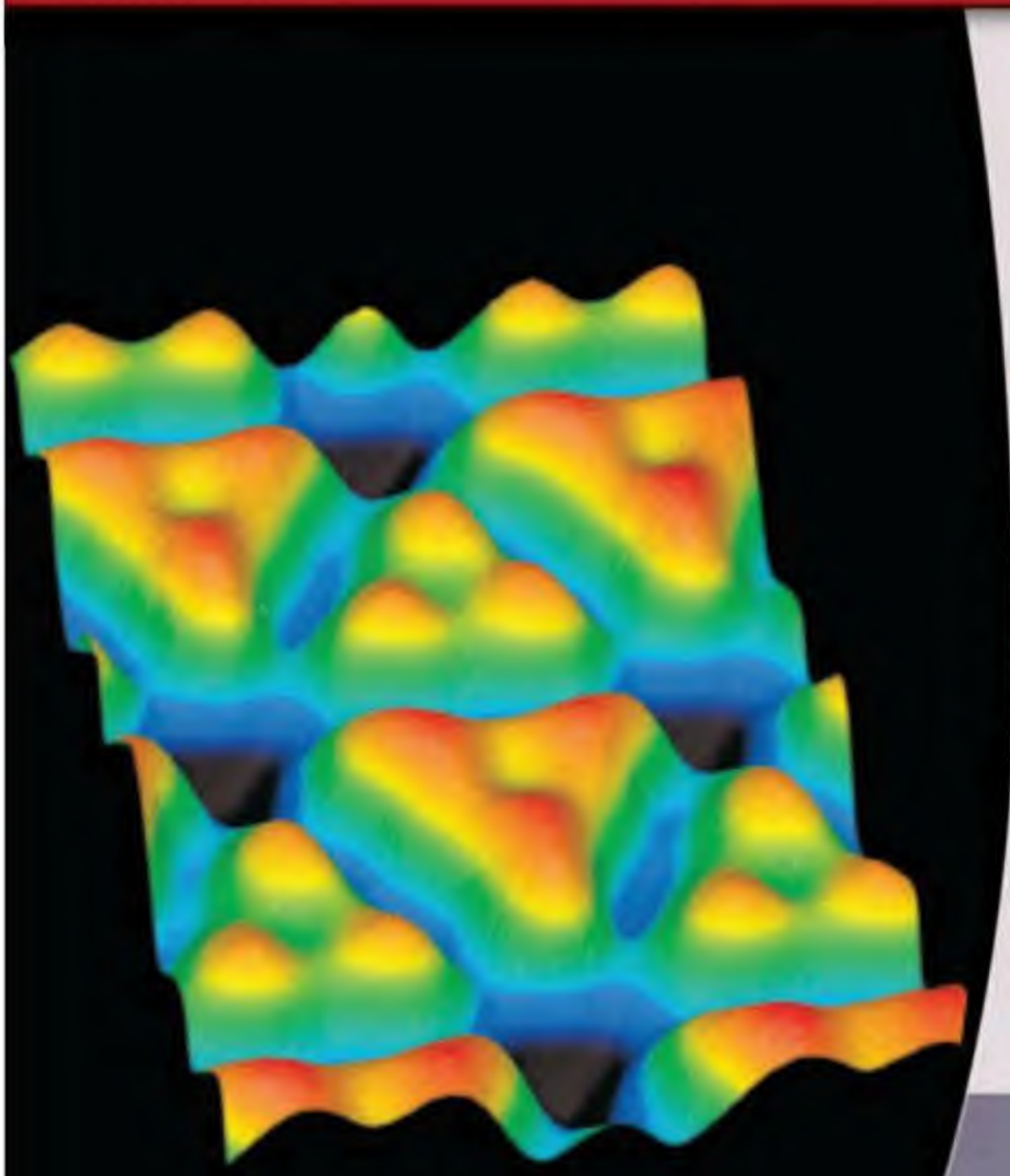
✓ إرشـاد

راقب الكلمات البسيطة والصغيرة

ضع خطًّا تحت كلمات مثل: مطلقًا، دائمًا، على الأقل، لا، ما عدا – عندما تجدها في الأسـئلة؛ إذ تؤثر هذه الكلمات الصغيرة في معنى السؤال كثيرًا.

الفصل 3

نظرية الكم
Quantum Theory



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات التي لها زخم وطاقة.
- معرفة أن الجسيمات المادية الصغيرة تسلك سلوك الموجات؛ فيحدث لها حيود وتداخل.

الأهمية

تُزوِّدنا نظرية الكم بمبدأ عمل جهاز مهم، وهو المجهر الأنبوبي الماسح (STM) Sanning Tunneling Microscop؛ حيث يعدّ هذا الجهاز ضروريًّا جدًّا للباحثين المهتمين بدراسة الحمض النووي DNA، وميكانيكية التفاعل الكيميائي، ويستخدم أيضًا في تطوير أجهزة الحاسوب الأصغر حجمًا والأكبر سرعة.

صور على المستوى الذري يمكن مشاهدة نوعين من ذرات السليكون، يظهران باللونين الأحمر والأزرق في صورة السليكون التي نحصل عليها باستخدام جهاز STM.

فكِّر

استُخدم المجهر الأنبوبي الماسح للحصول على هذه الصورة لسطح السليكون. وهو يستخدم مقدرة الإلكترونات على القفز عبر حاجز. كيف تحدث عملية القفز هذه التي تعدّ مستحيلة وفق قانون حفظ الطاقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

ماذا يشبه طيف المصباح الكهربائي المتوهّج؟

سؤال التجربة ما ألوان الضوء المرئي المنبعثة من مصباح كهربائي متوهج وساطع؟

الخطوات

1. ثبت المصباح الكهربائي المتوهج في قاعدته.
2. صل المصباح مع مصدر جهد كهربائي يمكن التحكم فيه بمفتاح تحكم، وأضئ المصباح بحيث يصدر ضوءًا خافتاً. **تحذير: تجنب لمس المصباح المتوهج؛ لأنه يؤدي إلى إحداث حروق عندما يكون ساخنًا.**
3. أطفئ المصابيح الأخرى في الغرفة أو اجعل إضاءتها خافتة.
4. قف على بُعد 1–2 m من المصباح الكهربائي، وأمسك بمحـزوز حيود هولوجرافي؛ بحيـث يكون قريبًا من عينك، وشـاهد المصباح من خلالـه. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى المصباح الكهربائي السـاطع دون استخدام محـزوز الحيـود؛ لأن ذلك يـؤدي إلى إلحـاق الأذى بقدرتك على الرؤية.**
5. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.
6. أدِرْ مفتاح التحكم لزيادة سـطوع المصباح الكهربائي إلى حدّه الأقصى.
7. **أنشئ رسومًا توضيحية علمية واستخدمها** استعمل أقلام رصاص ملونة لعمل رسم توضيحي لما تشاهده.

التحليل

صف الطيـف المنبعث من المصبـاح الكهربائي. هل هو متصل أم سلسـلة من الخطوط الملونـة والمميّزة؟ صف كيف يتغير الطيف المشاهد عندما يزداد سطوع المصباح؟ التفكير الناقد ما مصدر الضوء المنبعث من المصباح؟ ماذا يحدث لدرجة حرارة فتيلة المصباح عندما يزداد سـطوع المصباح الكهربائي؟



3–1 النموذج الجسيمي للموجات A Particle Model of Waves

آثبت هينرش هرتز صحة نظرية الموجات الكهرومغناطيسية للعالم ماكسويل، والتي درستها من قبل، من خلال تجاربه التي أجراها عام 1889م. واعتُبر الضوء بعد ذلك موجات كهرومغناطيسية. وبدا أن جميع الظواهر البصرية – ومنها التداخل والحيود والاستقطاب – قابلة للتفسير باستخدام نظرية الموجات الكهرومغناطيسية.

ورغم ذلك بقيت بعض المشـكلات لـدى الفيزيائيين بحاجة إلى حل؛ لأن ما أشـارت إليه نظرية ماكسـويل – أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسـية محضة – لم يسـتطع تفسـير بعـض الظواهر المهمة الأخرى. وتتعلق هذه المشـكلات عمومًا بعملية امتصاص أو انبعاث الإشـعاع الكهرومغناطيسي. ومن هذه المشكلات: الطيف المنبعث من جسم ساخن، وتحرير الجسيمات المشحونة كهربائيا من سطح فلزي عند سقوط أشعة فوق بنفسجية عليه. وسوف تتعلم في هذا الفصل أن هاتين الظاهرتين يمكن تفسيرهما عندما تدرك أن الموجات الكهرومغناطيسية لها خصائص جسيمية إضافة إلى خصائصها الموجية.

الأهداف

- **تصف** الطيف المنبعث من جسم ساخن.
- **تفسر** التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
- **تحل** مسائل تتضمن التأثير الكهروضوئي.

المفردات

طيف انبعاث
مكمّاة
التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)
تردد العتبة
الفوتون
دالة (اقتران) الشغل
تأثير كومبتون

الإشعاع من الأجسام المتوهجة

Radiation from Incandescent Bodies

لماذا حيّر الإشـعاع المنبعث من الجسم السـاخن الفيزيائيين؟ لاحظ أنه يجب التعامل مع المشـكلة من حيث شدة الإشعاع المنبعث - كمية الطاقة الإشـعاعية التي تسقط عموديًا على وحدة المسـاحات خلال ثانية، وتقاس بوحدة W/m^2- وتردده عند درجات حرارة مختلفة. لم تستطع نظرية الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل تفسير الإشعاعات المشاهدة المنبعثة من الأجسام الساخنة. إذن فما طبيعة الإشعاع المُنبعث من الأجسام الساخنة؟

عندما يسـتخدم مفتاح التحكم لزيادة الجهد المطبّق على المصباح فإن درجة حرارة الفتيلة المتوهجـة تزداد. ونتيجة لذلك فـإن اللون يتغير من الأحمر الداكـن إلى البرتقالي، ثم إلى الأصفر وأخيرًا إلى الأبيض. ويحدث تغير اللون هذا لأن الفتيلة ذات درجة الحرارة الأعلى تبعث إشـعاعًا بتردد أعلى. إن الإشـعاع ذا التردد الأعلى يَنتج عن التردد الأعلى للطيف المرئي (اللون البنفسجي)، وهذا يؤدي إلى أن تظهر الفتيلة بيضاء.

ويسمى الرسم البياني لشدة الضوء المنبعث من جسم ساخن على مدى من الترددات **طيف الانبعاث**. ويوضح **الشـكل 1–3** أطياف الانبعاث لجسـم متوهج عند درجات الحرارة 4000 k و 5800 k و8000 K. لاحـظ أنه عند كل درجة حـرارة هناك تردد تنبعث عنده كمية عظمى مـن الطاقة. وإذا قارنت موقع قمة كل منحنى فسـتلاحظ أنه كلما ازدادت درجة الحرارة فإن التردد الذي تنبعث عنده الكمية العظمى من الطاقة يزداد أيضًا.

إن القدرة الكلية المنبعثة من جسـم سـاخن تزداد أيضًا بازدياد درجة حرارته. تتناسـب القدرة (الطاقة المنبعثة في كل ثانية) للموجات الكهرومغناطيسـية طرديًّا مع درجة حرارة الجسـم السـاخن بوحدة كلفن مرفوعة للقوة الرابعة؛ أي $P \propto T^4$، لذا تشـع الأجسام الأسخن قدرة أكبر مقارنة بالأجسـام الأبرد. وتعد الشمس من أكثر الأمثلة شيوعًا على الأجسام السـاخنة التي تشع كمية كبيرة من الطاقة. وهي كرة كثيفة من الغازات سخنت حتى توهّجت؛ وذلك بسبب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية فيها.

تجـربة

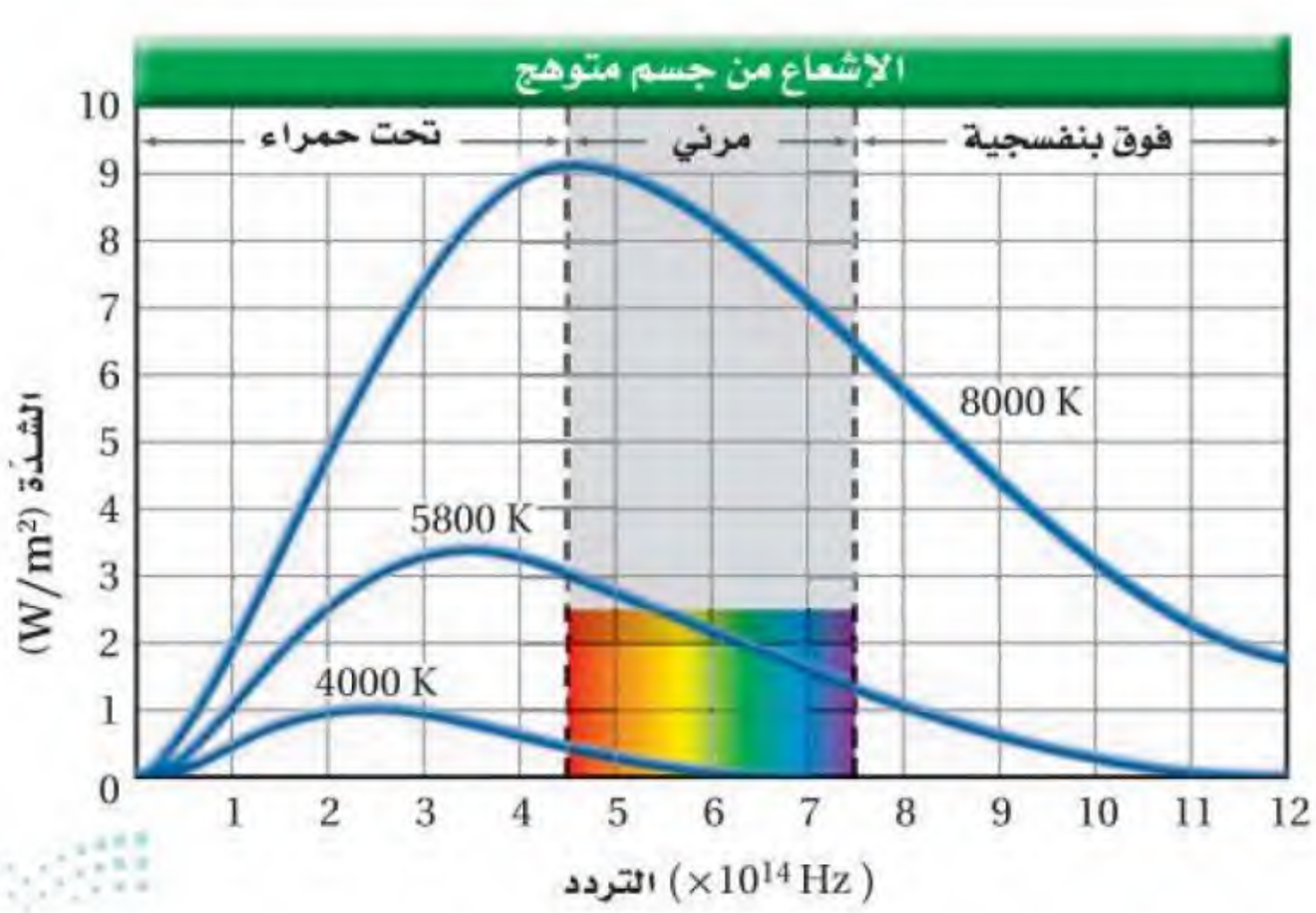
السطوع في الظلام

أسدل الستائر، وأطفئ المصابيح في الغرفة، ثم سلّط ضوء مصباح يدوي على إناء مختبري يحتوي على مادة الفلوريسين. ضع الآن مرشّح ضوء أحمر على المصباح اليدوي لكي يسقط ضوء أحمر فقط على الإناء.

1. **صف** النتائج.
2. **توقع** كيف تتأثر النتائج عند استعمال مرشّح ضوء أخضر بدلاً من المرشّح الأحمر؟
3. **اختبر** توقعاتك.
4. **فسّر** النتائج.
5. **توقع** ما إذا كان الفلوريسين سيتوهج عند استعمال مرشح ضوء أزرق مع ذكر تفسير لتوقعك.
6. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

7. **اكتب** تفسيرًا مختصرًا، تلخّص وتوضح فيه مشاهداتك.



الشكل 1–3 يوضح الرسم البياني أطياف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.

تجربة عملية

ما العلاقة بين لون الضوء المنبعث من دايود مشع للضوء والهبوط في الجهد خلاله؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

تكمن مشـكلة النظرية الكهرومغناطيسـية لماكسـويل في أنها غير قادرة على تفسير شكل الطيف الموضّـح في **الشـكل 1–3**. وقد حاول كثير مـن الفيزيائيين خـلال الفترة بين 1887 و 1900م تفسير شكل هذا الطيف باستخدام النظريات الفيزيائية الكلاسيكية التي كانت موجودة آنذاك، ولكنها فشلت جميعًا. وفي عام 1900م وجد الفيزيائي الألماني ماكس بلانك أن باستطاعته حساب الطيف اعتمادًا على فرضية ثورية قدّمها تنص على أن الذرات غير قادرة على تغيير طاقتها بشـكل مسـتمر. وافترض بلانك أن طاقة اهتزاز الذرات في الجسم الصلب لها ترددات محددة فقط، كما هو موضح في المعادلة التالية:

طاقة الاهتزاز $E = nhf$

طاقة الذرة المهتزة تساوي حاصل ضرب عدد صحيح في ثابت بلانك وفي تردد الاهتزاز.

في المعادلة أعلاه، يمثل f تردد اهتزاز الذرة، و h ثابت بلانك ومقداره 6.626×10^{-34} J /Hz، و n عدد صحيح مثل ... 0,1,2,3.

$n = 0:\ E = (0)\ hf = 0$
$n = 1:\ E = (1)\ hf = hf$
$n = 2:\ E = (2)\ hf = 2\ hf$
$n = 3:\ E = (3)\ hf = 3\ hf$ وهكذا

لـذا فإن الطاقة E يمكن أن يكون لها المقادير hf و hf 2 و $3hf$... وهكذا، ولكن لن يكون لها المقدار $\frac{2}{3}hf$ أو $\frac{3}{4}hf$. أي أن الطاقة **مكمّاة**، أي أنها توجد فقط على شكل حزم أو كميات معينة. ويُقرّب الثابت h عادة إلى 6.63×10^{-34} J/Hz لتبسيط إجراء الحسابات.

واقترح بلانك أيضًا أن الذرات لا تشـع دائمًا موجات كهرومغناطيسية عندما تكون في حالة اهتزاز، كما توقع ماكسويل، وبدلاً من ذلك اقترح بلانك أن الذرات تبعث إشعاعًا فقط عندما تتغير طاقـة اهتزازها. فإذا تغيرت طاقة اهتزاز ذرة مثلاً مـن $3\ hf$ إلى $2\ hf$ فإن الذرة تبعث إشعاعًا. والطاقة المنبعثة تساوي التغير في طاقة اهتزاز الذرة، وهي تساوي hf في هذه الحالة.

وجد بلانك أن الثابت h له قيمة صغـيرة جدًّا، وهذا يعني أن مراحل تغير الطاقة صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن ملاحظتها في الأجسـام العادية. وبقي تقديـم مفهوم تكمية الطاقة يمثل مشـكلة كبيرة للفيزيائيين، وخصوصًا لبلانك نفسه. وكانت هذه أول إشارة إلى أن الفيزياء الكلاسيكية لنيوتن وماكسويل قد تكون صحيحة تحت ظروف خاصة فقط.



فاز ماكس بلانك بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1918م، لنظريته الكمية.

تطبيق الفيزياء

درجة حرارة الكون

الكون مليء بالإشعاع الذي بعثه عندما كان جسمًا ساخنًا جدًّا. وفي الوقت الحالي، طيف الانبعاث للكون مماثل لطيف الانبعاث لجسم درجة حرارته 2.7 K، وهو بهذا يعدّ باردًا جدًّا. وكما تعلم فإن 0 K تمثل أقل درجة حرارة ممكنة في مقياس كلفن وتسمى الصفر المطلق.

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز ν (نيو) وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

التأثير الكهروضوئي The Photoelectric Effect

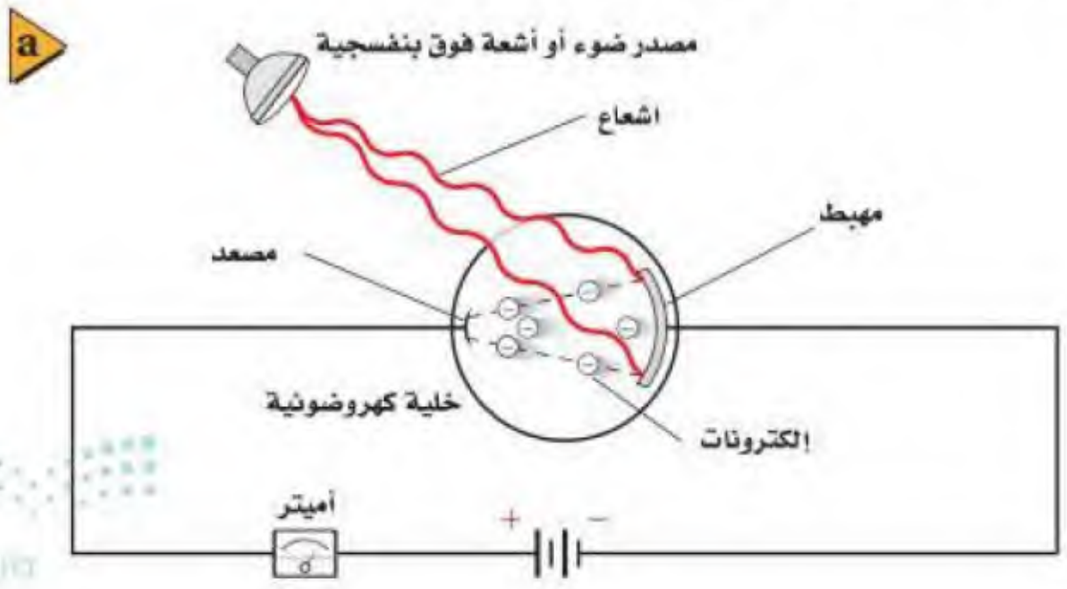
واجه الفيزيائيون في بداية القرن العشرين أيضًا بعض التحديات المتعلقة ببعض النتائج العملية التي لا يمكن تفسيرها من خلال النظرية الموجية لماكسويل؛ حيث لوحظ أنه عند سقوط أشعة فوق بنفسجية على لوح زنك مشحون بشحنة سالبة فإنه يفقد شحنته. أما عند سقوط ضوء مرئي عادي على اللوح المشحون نفسه فإنه لا يفقد شحنته. وهذه النتيجة مناقضة للنظرية الكهرومغناطيسية؛ حيث إن كلًّا من الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي يتكونان من إشعاع كهرومغناطيسي، فلماذا إذن يفقد لوح الزنك شحنته بأحدهما ولا يفقدها بالآخر؟ ولماذا لا يفقد لوح الزنك الموجب الشحنة شحنته بطريقة مماثلة؟ وقد بيّنت دراسات إضافية أن لوح الزنك السالب الشحنة يفقد شحنته نتيجة انبعاث أو فقد إلكترونات. ويسمى انبعاث إلكترونات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي على جسم **التأثير الكهروضوئي**.

يمكن دراسة التأثير الكهروضوئي باستخدام خلية ضوئية، كتلك الموضحة في **الشكل 2–3**؛ حيث تحتوي الخلية على قطبين كهربائيين فلزيين في أنبوب مفرغ من الهواء ومحكم الإغلاق. والهدف من الأنبوب المفرغ هو منع تأكسد سطوح الفلزين، ومنع الإلكترونات من التباطؤ أو التوقف نتيجة تفاعلها مع الجسيمات الموجودة في الهواء. وعادة يطلى القطب الأكبر (المهبط) بمادة السيزيوم، أو أي فلز قلوي آخر، في حين يصنع القطب الأصغر (المصعد) من سلك رفيع؛ لكي يحجب كمية قليلة فقط من الإشعاع. ويصنع الأنبوب عادة من الكوارتز؛ لكي يسمح للأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية بالنفاذ من خلاله. ويؤدي تطبيق فرق جهد على القطبين إلى جذب الإلكترونات في اتجاه المصعد.

لا يسري تيار في الدائرة الكهربائية إذا لم يسقط إشعاع مناسب على المهبط، لكن عندما يسقط الإشعاع عليه ينتج تيار كهربائيّ يتم قياسه بجهاز الأميتر، كما هو موضح في **الشكل 2–3**. وينتج هذا التيار لأن التأثير الكهروضوئي أدّى إلى تحرير إلكترونات – تسمى الإلكترونات الضوئية – من المهبط، وتدفق الإلكترونات هذا عبارة عن تيار كهربائي في الدائرة؛ حيث تتدفق الإلكترونات في اتجاه المصعد (القطب الموجب).

تردد العتبة ليس كل إشعاع يسقط على المهبط يولد تيارًا كهربائيًا؛ فالإلكترونات تنبعث من المهبط فقط عندما يكون تردد الإشعاع الساقط أكبر من قيمة صغرى معينة، تسمى **تردد العتبة** f_0. ويتغير تردد العتبة بتغير نوع الفلز. فمثلاً تُحرر كل الأطوال الموجية للضوء المرئي – ما عدا الضوء الأحمر – إلكترونات من السيزيوم، بينما لا يُحرر أي طول موجي للضوء المرئي إلكترونات من الزنك؛ حيث إننا نحتاج إلى الأشعة فوق البنفسجية ذات التردد العالي لحدوث التأثير الكهروضوئي في الزنك.

الشكل 2–3 في الخلية الضوئية الموضحة، تتدفق الإلكترونات المحررة من المهبط إلى المصعد، ومن ثم تكتمل الدائرة الكهربائية، ويتولد تيار كهربائيّ (a). يعمل مقياس الضوء اليدوي بسبب التأثير الكهروضوئي، ويستخدمه مصورو الفوتوجرافيا لقياس مستويات الضوء (b).





يكون الإشعاع الساقط على فلز غير قادر على تحرير إلكترونات منه مهما كانت شدة هذا الإشعاع إذا كان تردده أقل من f_0. في حين يؤدي سقوط إشعاع شدته قليلة جدًّا وتردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة إلى تحرير إلكترونات من الفلز مباشرة. عندما يكون تردد الإشعاع الساقط مساويًا أو أكبر من تردد العتبة فإن زيادة شدة هذا الإشعاع تؤدي إلى زيادة تدفق الإلكترونات الضوئية.

كيف تفسّر نظرية الموجات الكهرومغناطيسية التأثير الكهروضوئي؟ إنها غير قادرة على ذلك؛ فبناءً على نظرية الموجات الكهرومغناطيسية فإن المجال الكهربائي يحرر الإلكترونات من الفلز ويسرّعها، وترتبط شدة المجال الكهربائي مع شدة الإشعاع (لا مع تردده). ولذلك فإن الإلكترونات في الفلز يمكن أن تمتص طاقة من مصدر ضوء خافت فترة زمنية طويلة جدًّا لتكتسب طاقة كافية لتحررها. لكن كما درست قبل قليل فإن ما يحدث غير ذلك؛ حيث تبين المشاهدات أن الإلكترونات تنطلق مباشرة حتى عندما يسقط على الفلز إشعاع ذو شدة منخفضة وتردده مساوٍ أو أكبر من تردد العتبة.

الفوتونات وتكمية الطاقة نشر العالم أينشتاين في عام 1905م نظرية جريئة تفسر التأثير الكهروضوئي. وبناءً على نظرية أينشتاين، يتكون الضوء والأشكال الأخرى من الإشعاع الكهرومغناطيسي من حزم مكمّاة ومنفصلة من الطاقة، سُمّي كل منها فيما بعد **فوتون**. وتعتمد طاقة الفوتون على تردده.

طاقة الفوتون $E = hf$

طاقة الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون.

في المعادلة أعلاه تمثل f التردد بوحدة Hz، و h ثابت بلانك. ولأن $\text{Hz} = 1/\text{s}$ فإن وحدة J /Hz لثابت بلانك مكافئة أيضًا للكمية J.s. ولأن وحدة الجول وحدة طاقة كبيرة جدًّا لاستخدامها في الأنظمة ذات الحجم الذري، لذا فالوحدة الأكثر شيوعًا للطاقة هي وحدة الإلكترون فولت (eV). وكل إلكترون فولت يساوي طاقة إلكترون يتسارع عبر فرق جهد مقداره فولت واحد.

$$1\,\text{eV} = (1.60\times10^{-19}\,\text{C})(1\,\text{V})$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{C.V}$$
$$= 1.60\times10^{-19}\,\text{J}$$

يسمح استخدام تعريف الإلكترون فولت بإعادة كتابة معادلة طاقة الفوتون في شكل مبسّط، كما هو موضح أدناه.

طاقة الفوتون $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$

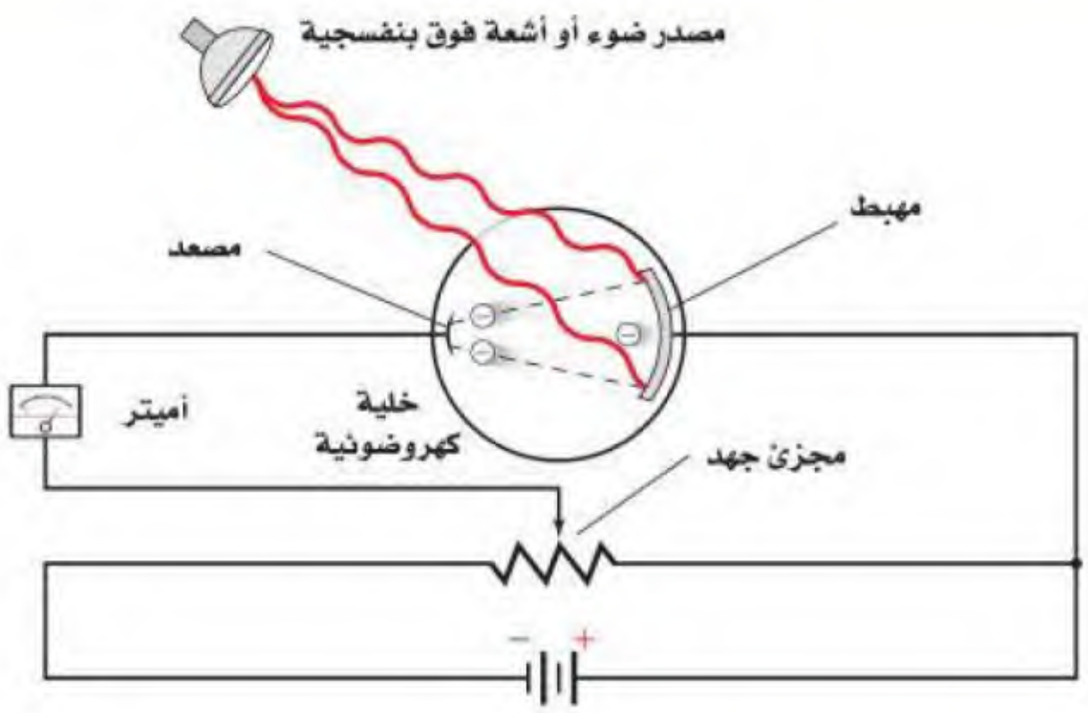
تساوي طاقة الفوتون حاصل قسمة 1240 eV.nm على الطول الموجي للفوتون.

من المهم ملاحظة أن نظرية أينشـــتاين للفوتون أشـــمل وأعم من نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجســـام الســـاخنة. فبينما توقع بلانـــك أن الذرات المهتزة تبعث إشـــعاعًا كهرومغناطيسيًّا بطاقة تساوي nhf، فإنه لم يتوقع أن الضوء والأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي تسلك ســـلوك الجسيمات. أما نظرية أينشـــتاين للفوتون فتعيد تفسير نظرية بلانك للإشعاع المنبعث من الأجسام الساخنة وتوسعها.

تستطيع نظرية أينشتاين للتأثير الكهروضوئي تفسير وجود تردد العتبة كما يلي: يلزم فوتون له أقل تردد f_0، وأقل طاقة hf_0، ليحرر إلكترونًا من فلز. أما إذا كان تردد الفوتون الساقط أقل من f_0 فلن يكون له الطاقة الكافية لتحرير الإلكترون. ولأن فوتونًا واحدًا فقط يتفاعل مع إلكترون واحد فإن الإلكترون لا يســـتطيع تجميع طاقة فوتونات ترددتها أقل من تردد العتبـــة حتى يكون له الطاقة الكافية اللازمة لتحريره. أما الإشـــعاع الذي تردده أكبر من f_0 فإن له طاقـــة أكبر من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكـــترون؛ فتتحول هذه الطاقة الزائدة $hf-hf_0$ إلى طاقة حركية للإلكترونات المتحررة.

الطاقة الحركية لإلكترون كهروضوئي $KE = hf-hf_0$

الطاقة الحركيـــة للإلكترون المتحرر تســـاوي الفرق بين طاقة الفوتون الســـاقط hf والطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من الفلز hf_0.



■ **الشـكل 3–3** يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من المهبط باستخدام هذا الجهاز؛ حيث يقيس الأميتر التيار المار في الدائرة. وبتعديل مجزئ الجهد يمكن للشخص الذي يجري التجربة تحديد فرق الجهد الذي يصبح عنده التيار المار في الدائرة صفرًا. عندها يمكن قياس الطاقة الحركية العظمى الممكنة للإلكترونات المتحررة.

اختبار النظرية الكهروضوئية كيف يمكن اختبار نظرية أينشـــتاين؟ يمكن قياس الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بطريقة غير مباشرة بواسطة جهاز خاص بذلك، كالموضح في **الشـــكل 3–3**. يســـتخدم فرق جهد كهربائـــي متغير لتعديل فـــرق الجهد المطبق عبر الأنبـــوب. عندما يعدل فرق الجهد لجعل المصعد ســـالبًا فإن الإلكترونات المتحررة تخسر طاقـــة للوصول إلى المصعد. وســـيصل إليه فقط الإلكترونات المتحـــررة من المهبط ذات الطاقة الحركية الكافية.

وكما هو موضح في **الشكل 3–3**، يتم اختيار ضوء بتردد معين لإضاءة المهبط. يقوم الشخص الذي يجري التجربة بزيادة فرق الجهد المعاكس تدريجيًّا، بحيث يجعل المصعد أكثر سالبية. وكلما ازداد فرق الجهد المعاكس، لزمت طاقة حركية أكبر للإلكترونات للوصول إلى المصعد، لذا يصل إليه عدد أقل من الإلكترونات لتكمل الدائرة. وعند فرق جهد معين يسمى جهد الإيقاف أو القطع، لن تكون هنالك إلكترونات لها طاقة حركية كافية للوصول إلى المصعد، وعندها يتوقف سريان التيار.

عند جهد الإيقاف تكون الطاقة الحركية للإلكترونات عند المهبط مساوية للشغل المبذول من المجال الكهربائي لإيقافها. ويعبر عن هذا بالمعادلة: $KE = -qV_0$، حيث تمثل V_0 مقدار جهد الإيقاف بوحدة الفولت J /c، و q شحنة الإلكترون، وهي -1.60×10^{-19} C. لاحظ أن الإشارة السالبة في المعادلة والمقدار السالب للشحنة q ينتجان مقدارًا موجبًا للطاقة الحركية KE.

تطبيقات يستخدم التأثير الكهروضوئي في التطبيقات اليومية المختلفة. فالألواح الشمسية الموضحة في **الشكل 4–3** تَستخدم التأثير الكهروضوئي لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. كما تحتوي فاتحات أبواب مواقف السيارات على حزم من الأشعة تحت الحمراء تنشئ تيارًا في المستقبِل من خلال التأثير الكهروضوئي. فإذا قُطعت حزمة الضوء هذه بجسم في أثناء إغلاق باب الموقف فإن التيار يتوقف في المستقبِل، مما يؤدي إلى فتح الباب. ويستخدم التأثير الكهروضوئي أيضًا في التحكم في إضاءة مصابيح الشوارع وإطفائها آليًّا؛ اعتمادًا على ما إذا كان الوقت نهارًا أو ليلاً.

الربط مع رؤية 2030

من اهداف الرؤية

3.2.4 زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة

■ **الشكل 4–3 من مشاريع الشركة السعودية للكهرباء ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية تركيب خلايا كهروضوئية تعتمد على الطاقة الشمسية في توليد الطاقة لمدرستين بالرياض بهدف إنتاج الطاقة النظيفة ضمن البرامج الهادفة إلى التوسع في مشاريع "الطاقة البديلة" لتوفير الوقود والمحافظة على البيئة.**



مثـــــال 1

الطاقة الحركية لإلكترون ضوئي إذا كان جهد الإيقاف لخلية ضوئية معينة 4.0 V فما مقدار الطاقة الحركية التي يُكسبها الضوء الساقط للإلكترونات المتحررة؟ عبّر عن إجابتك بوحدتي الجول والإلكترون فولت.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارســم المهبط والمصعد والإشعاع الساقط واتجاه حركة الإلكترون المتحرر.

لاحظ أن جهد الإيقاف يحول دون تدفق الإلكترونات عبر الخلية الضوئية.

المعلوم	المجهول
$V_0 = 4.0\ V$	KE (بوحدة J و eV) =?
$q = -1.60 \times 10^{-19}\ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يبذل المجال الكهربائي شغلاً على الإلكترونات. عندما يكون الشغل المبذول W يساوي سالب الطاقة الحركية الابتدائية KE فإن الإلكترونات لا تتدفق عبر الخلية الضوئية.

$KE + W = 0\ J$

حل المعادلة لحساب الطاقة الحركية KE.

$KE = -W$

بالتعويض عن $W = q V_0$

$= -q V_0$

بالتعويض عن $V_0 = 4.0\ V, q = -1.60 \times 10^{-19}\ C$

$= -(-1.60 \times 10^{-19}\ C)(4.0\ V)$

$= +6.4 \times 10^{-19}\ J$

حوّل وحدة قياس الطاقة الحركية من جول إلى إلكترون فولت

$KE = (+6.4 \times 10^{-19}\ J)\left(\frac{1\ eV}{1.60 \times 10^{-19}\ J}\right)$

$= 4.0\ eV$

دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الجول والإلكترون فولت كلاهما وحدات قياس للطاقة.
- **هل للإشارات معنى؟** الطاقة الحركية دائمًا موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة بوحدة الإلكترون فولت تساوي في المقدار فرق جهد الإيقاف بوحدة فولت.

مسائل تدريبية

1. ما طاقة إلكترون بوحدة الجول إذا كانت طاقته 2.3 eV؟
2. إذا كانت سرعة إلكترون $6.2 \times 10^6\ m/s$ فما طاقته بوحدة eV؟
3. ما سرعة الإلكترون في المسألة 1؟
4. إذا كان جهد الإيقاف لخلية كهروضوئية 5.7 V فاحسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV.
5. يلزم جهد إيقاف مقداره 3.2 V لمنع سريــان التيار الكهربائي في خلية ضوئية. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة بوحدة الجول.

مسألة تحفيز

افــترض أن قطعة نقدية كتلتها 5.0 g معلقة بنابض تهتز إلى أعلى وإلى أســفل، وكانت السرعــة القصوى لهذه القطعة في أثنــاء اهتزازها 1.0 cm /s. اعتبر أن قطعة النقد المهتزة تمثّل الاهتزازات الكمية للإلكترونات في الذرة، حيث تعطى طاقة الاهتزازات بالمعادلة $E = nhf$.



1. احسب الطاقة الحركية العظمى للجسم المهتز.
2. يبعث الجســم المهتز طاقة على شــكل ضوء بتردد 5.0×10^{14} Hz إذا كانت هذه الطاقة تُبعث في مرحلة واحدة فاحسب الطاقة التي يفقدها الجسم.
3. حدد عدد المراحل التي ستقل فيها طاقة الجســم بمقادير متساوية حتى يفقد طاقته كلها.

تختلف الرسوم البيانية للفلزات المختلفة فقط في تردد العتبة اللازم لتحرير الإلكترونات. في **الشكل 5–3** تردد العتبة f_0 هو النقطة التي تكون عندها $KE = 0$. وفي هذه الحالة تقع f_0 على نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور x، ويساوي هنا 4.4×10^{14} Hz تقريبًا. ويرتبط تردد العتبة مع دالة الشــغل (اقتران الشغل) للفلز. **دالة الشغل (اقتران الشغل) للفلز** هي الطاقة اللازمة لتحريــر الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الفلز، ومقدارها يســاوي hf_0. وعندما يســقط فوتون تردده f_0 على فلز تكون طاقته كافية لتحرير الإلكترون فقط، دون تزويده بأي طاقة حركية.

أجرى العــالم الأمريكي روبرت ملّيكان بين عامي 1905 و 1916م مجموعة من التجارب الجيدة، حاول مــن خلالها أن يدحض النظرية الكهروضوئية لأينشــتاين. ومع أن نتائج تجاربه أكدت صحة معادلة أينشتاين إلا أنه لم يقبل فكرة أينشتاين عن الفوتون.



فاز ألبرت أينشتاين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921م، لنظريته التي فسرت التأثير الكهروضوئي.

فاز روبرت مليكان بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1923م، لحسابه شحنة الإلكترون وأبحاثه في التأثير الكهروضوئي.



■ **الشكل 5–3 يوضح الرسم البياني أنه كلما زاد تردد الإشعاع الساقط ازدادت الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بشكل متناسب.**

مثـــــال 2

دالة الشغل والطاقة تستخدم خلية ضوئية مهبطًا من الصوديوم. فإذا كان طول موجة العتبة λ_0 لمهبط الصوديوم 536 nm:

a. فاحسب دالة الشغل للصوديوم بوحدة eV.

b. إذا سقط إشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 348 nm على الصوديوم فما طاقة الإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم المصعد والمهبط، والإشعاع الساقط، واتجاه الإلكترون المتحرر.

المعلوم	المجهول
$\lambda_0 = 536$ nm	W = ?
$hc = 1240$ eV.nm	KE = ?
λ = 348 nm	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم ثابت بلانك وطول موجة العتبة لإيجاد دالة الشغل.

$$W = hf_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

بالتعويض $\lambda_0 = 536$ nm, $hc = 1240$ eV.nm

$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{536 \text{ nm}} = 2.31 \text{ eV}$$

b. استخدم معادلة التأثير الكهروضوئي لأينشتاين لحساب طاقة الإشعاع الساقط.

$$E = \frac{1240 \text{ eV.nm}}{\lambda}$$

بالتعويض λ= 348 nm

$$= \frac{1240 \text{ eV.nm}}{348 \text{ nm}} = 3.56 \text{ eV}$$

لحساب طاقة الإلكترون المتحرر اطرح دالة الشغل من طاقة الإشعاع الساقط.

$$KE = hf - hf_0 = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$

بالتعويض $W = \frac{hc}{\lambda_0}$, $E = \frac{hc}{\lambda}$

بالتعويض $E = 3.56$ eV ،$W = 2.31$ eV

$$= \text{E} - \text{W}$$

$$= 3.56 \text{ eV} - 2.31 \text{ eV}$$

$$= 1.25 \text{ eV}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إجراء التحليل البعدي على الوحدات يؤكد أن وحدة eV هي الوحدة المناسبة للطاقة الحركية KE.
- **هل للإشارة معنى؟** الطاقة الحركية موجبة دائمًا.
- **هل الجواب منطقي؟** ينبغي أن تكون الطاقات مقادير قليلة من الإلكترون فولت.

مسائل تدريبية

6. احسب تردد العتبة للزنك بوحدة Hz ودالة الشغل بوحدة eV إذا كان طول موجة العتبة للزنك 310 nm.
7. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV للإلكترونات المتحررة من السيزيوم عندما يسقط عليه ضوء بنفسجي طوله الموجي 425 nm إذا كانت دالة الشغل له 1.96 eV؟
8. تتحرر من فلز إلكترونات بطاقات 3.5 eV عندما يضاء بإشعاع فوق بنفسجي طوله الموجي 193 nm. ما مقدار دالة الشغل لهذا الفلز؟
9. إذا كانت دالة الشغل لفلز 4.50 eV فما مقدار أكبر طول موجي للإشعاع الساقط عليه، بحيث يكون قادرًا على تحرير إلكترونات منه؟

تأثير كومبتون The Compton Effect

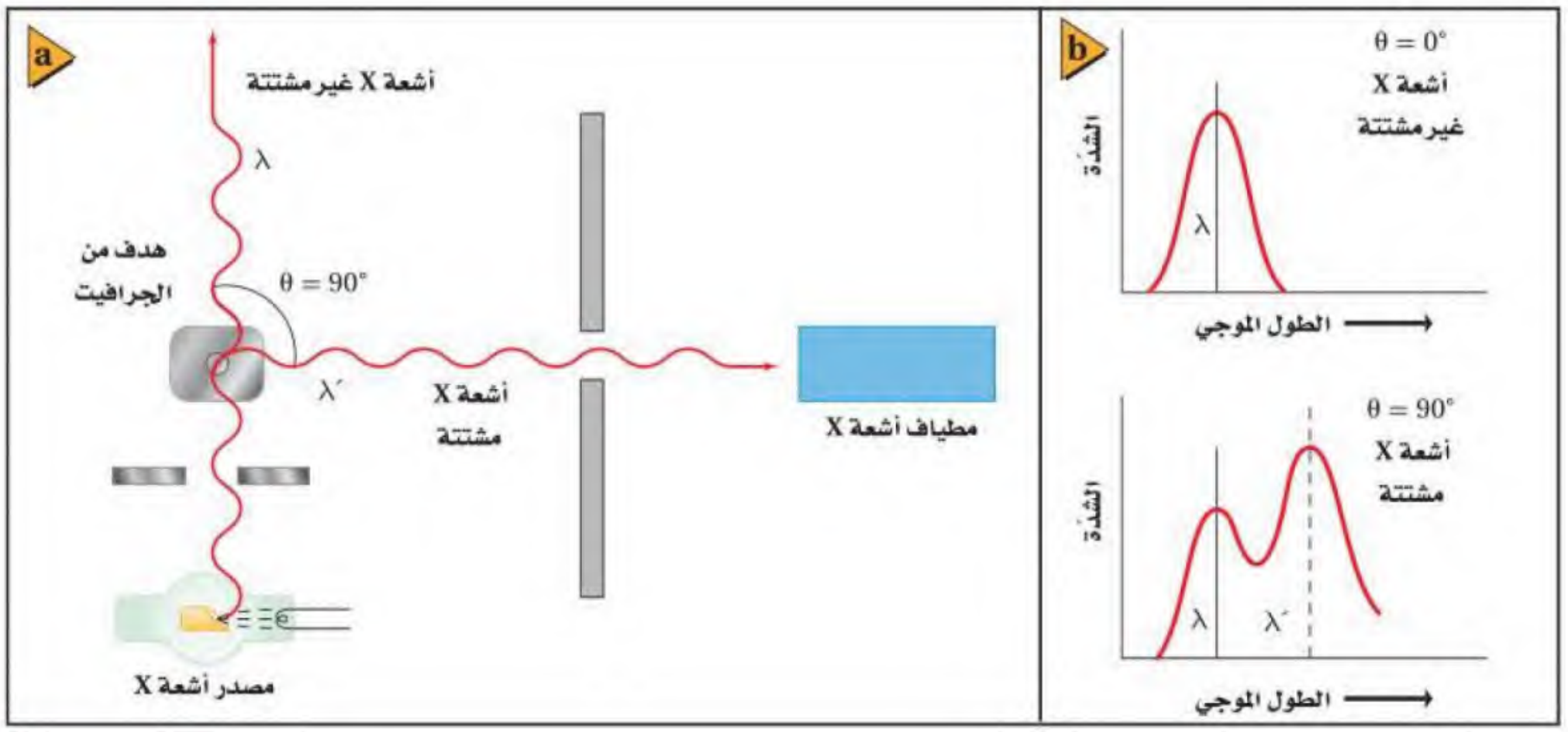
يُظهـر التأثير الكهروضوئي أن للفوتـون - رغم أنه ليس له كتلـة - طاقة حركية، تمامًا كما للجسـيمات. وفي عام 1916م اقترح أينشـتاين أن الفوتون يجب أن يكون له خاصية جسيمية أخرى، هي الزخم. وبيّن أن زخم الفوتون يجب أن يساوي E /c. ولأن $E = hf$ و $f /c = 1 /\lambda$، فإن زخم الفوتون يعطى بالمعادلة:

زخم الفوتون $$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

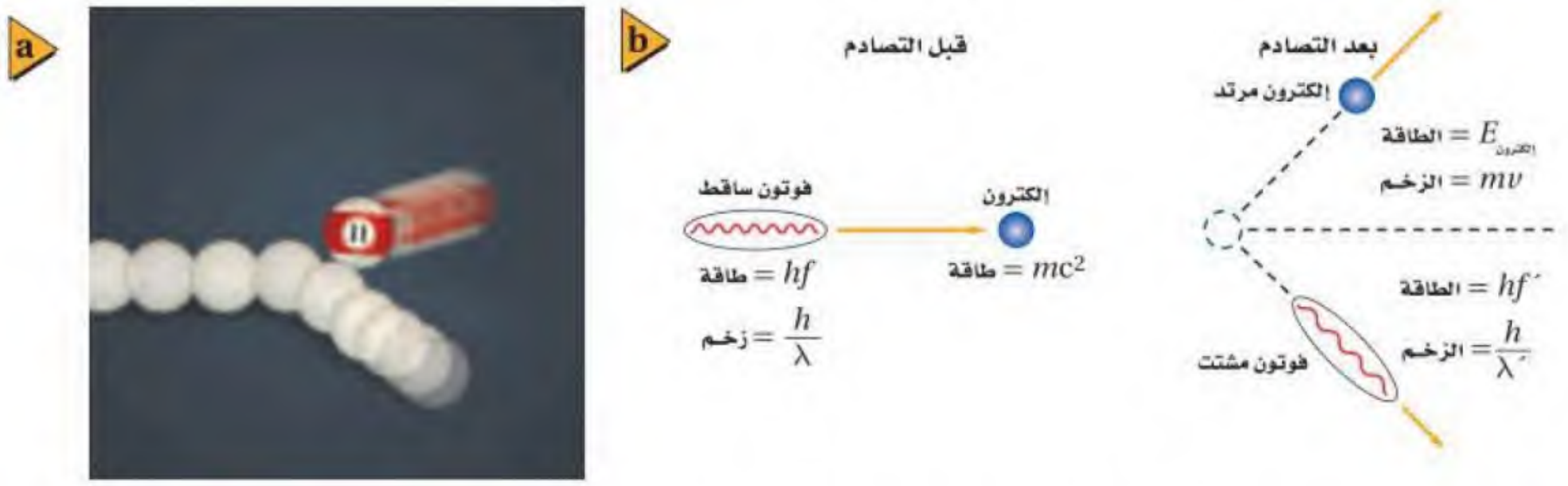
زخم الفوتون يساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على الطول الموجي للفوتون.

اختبرت تجارب أجراهـا الفيزيائي الأمريكـي أرثر هولي كومبتون عـام 1922م نظرية أينشـتاين. وقد دعمت نتائج تجارب كومبتون النموذج الجسيمي للضوء. سلّط كومبتون أشعة X ذات طول موجي معلوم على هدف من الجرافيت، كما هو موضح في **الشكل 6a–3**، وقاس الأطوال الموجية لأشـعة X التي شـتتها الهدف. لاحظ كومبتون أن بعض أشعة X المُشَتَّتة لم يتغير طولها الموجي، في حين أصبح لبعضها الآخر طول موجي أكبر مما للإشعاع السـاقط. وُضّحت هذه النتائج في **الشكل 6b–3**. لاحظ أن الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X غير المشـتتة يتطابق مع مثيله لأشعة X الساقطة، بينما الطول الموجي المقابل لأكبر شدة لأشعة X المشتتة أكبر من مثيله لأشعة X الساقطة.

تذكر أن معادلة طاقة الفوتون $E = hf$ يمكن كتابتها أيضًا على شـكل $E = hc/\lambda$. تظهر المعادلة الثانية أن طاقة الفوتون تتناسب عكسـيًّا مع طوله الموجي. إذن الزيادة في الطول الموجي الذي لاحظه كومبتون تعني أن فوتونات أشـعة X قد فقدت طاقة وزخمًا. تسمى الإزاحة في طاقة الفوتونات المشـتتة **تأثير كومبتون**. وهذه الإزاحة في الطاقة صغيرة جدًّا، 10^{-3} nm تقريبًا، ولها تأثير قابل للقياس فقط عند اسـتخدام أشـعة X بأطوال موجية في حدود 10^{-2} nm أو أقل.



■ **الشكل 6–3** استخدم كومبتون أدوات مشابهة لهذه الأدوات في دراسة طبيعة الفوتونات (**a**). زيادة الطول الموجي للفوتونات المشتتة دليل على أن فوتونات أشعة X قد فقدت طاقة (**b**).



■ **الشكل 7–3** تصادم كرتي بلياردو (**a**) يشبه تمامًا ما يحدث عند اصطدام فوتون بإلكترون؛ حيث إن الطاقة والزخم اللذين يكتسبهما الإلكترون يساويان الطاقة والزخم اللذين يفقدهما الفوتون (**b**).

في التجارب الأخيرة، لاحظ كومبتون تحرر إلكترونات من حاجز الجرافيت خلال إجراء التجربة، فاقترح أن فوتونات أشعة X اصطدمت بالإلكترونات الموجودة في هدف الجرافيت، ونقلت الطاقة والزخم إليها. اعتقد كومبتون أن تصادمات الفوتون- إلكترون هذه مشابهة تمامًا للتصادمات المرنة في كرات البلياردو، كما هو موضح في **الشكل 7–3**. واختبر هذه الفكرة من خلال قياس طاقة الإلكترونات المتحررة، ووجد كومبتون أن الطاقة والزخم اللذين تكتسبهما الإلكترونات يساويان الطاقة والزخم اللذين تفقدهما الفوتونات، لذا فإن الفوتونات تحقق قانوني حفظ الزخم والطاقة عندما تصطدم بجسيمات أخرى.

1–3 مراجعة

10. **التأثير الكهروضوئي** لماذا يكون الضوء ذو الشدة العالية والتردد المنخفض غير قادر على تحرير إلكترونات من فلز، في حين يكون الضوء ذو الشدة المنخفضة والتردد العالي قادرًا على ذلك؟ فسّر إجابتك.
11. **تردد إشعاع الجسم الساخن وطاقته** كيف يتغير تردد الإشعاع المقابل لأعلى شدة عندما ترتفع درجة حرارة الجسم؟ وكيف تتغير الكمية الكلية للطاقة المنبعثة؟
12. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** سلّط عالمٌ أشعةَ X على هدف، فانطلق إلكترون من الهدف دون أن ينبعث أي إشعاع آخر. وضّح إذا كان هذا الحدث ناتجًا عن التأثير الكهروضوئي أم عن تأثير كومبتون.
13. **التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون** ميّز بين التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.
14. **التأثير الكهروضوئي** اصطدم ضوء أخضر $\lambda = 532\ \text{nm}$ بفلز ما، فحرر إلكترونات منه. إذا تم إيقاف هذه الإلكترونات باستخدام فرق جهد 1.44 V، فما مقدار دالة الشغل للفلز بوحدة eV؟
15. **طاقة فوتون** تنبعث فوتونات طولها الموجي 650 nm من مؤشر ليزر. ما مقدار طاقة هذه الفوتونات بوحدة eV؟
16. **التأثير الكهروضوئي** امتُصّت أشعة X في عظم، وحررت إلكترونًا. إذا كان الطول الموجي لأشعة X 0.02 nm تقريبًا، فقدّر طاقة الإلكترون بوحدة eV.
17. **تأثير كومبتون** أُسقطت أشعة X على عظم، فاصطدمت بإلكترون فيه وتشتت. كيف تقارن بين الطول الموجي لأشعة X المشتتة والطول الموجي لأشعة X الساقطة؟
18. **التفكير الناقد** تخيل أن تصادم كرتَيْ بلياردو يمثل التفاعل الذي يحدث بين فوتون وإلكترون خلال تأثير كومبتون. افترض أن بروتونًا- كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون- وُضع بدلاً من الإلكترون، فهل تكون الطاقة التي يكتسبها البروتون نتيجة التصادم مساوية لتلك التي يكتسبها الإلكترون؟ وهل تكون الطاقة التي يفقدها الفوتون مساوية لتلك التي يفقدها عندما يتصادم بالإلكترون؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 موجات المادة Matter Waves

أظهر كل من التأثير الكهروضوئي وتشتت كومبتون أن للموجات الكهرومغناطيسية العديمة الكتلة زخم وطاقة كالجسيمات. إذا كان للموجات الكهرومغناطيسية خصائص جسيمية، فهل يمكن للجسيمات أن تسلك سلوك الموجات، وذلك بأن تظهر التداخل والحيود؟ أيْ: هل للجسيمات خصائص موجية؟ توقع العالم دي برولي عام 1923م أن للجسيمات المادية خصائص موجية. وكان هذا التوقع غير عادي، وقد قوبل بالرفض من علماء آخرين حينها، حتى قرأ أينشتاين أبحاث دي برولي العلمية وأيده في ذلك.

الأهداف

- **تصف** دليلًا على الطبيعة الموجية للمادة.
- **تطبق** معادلة دي برولي في حل مسائل عددية.
- **تصف** الطبيعة المزدوجة للموجات والجسيمات، وأهمية مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج.

المفردات

طول موجة دي برولي

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

موجات دي برولي De Broglie Waves

تذكر أن زخم الجسم يساوي كتلته مضروبة في سرعته $p = mv$. وقياسًا على زخم الفوتون $p = h/\lambda$، توقع دي برولي أن زخم الجسيم يعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

يمثل الطول الموجي في العلاقة أعلاه الطول الموجي المصاحب للجسيم المتحرك، ويسمى **طول موجة دي برولي.** وتعطي المعادلة التالية طول موجة دي برولي مباشرة.

طول موجة دي برولي

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

طول موجة دي برولي المصاحبة لجسيم متحرك تساوي حاصل قسمة ثابت بلانك على زخم الجسيم.

اعتمادًا على نظرية دي برولي، ينبغي أن تُظهر جسيمات مثل الإلكترونات والفوتونات خصائص موجية. إلا أنه لم يسبق أن لوحظت تأثيرات مثل التداخل والحيود للجسيمات. لذا كان إنجاز دي برولي عظيمًا، رغم وجود شك كبير في نظريته. وفي عام 1927م أجريت تجربتان مستقلتان أثبتت نتائجهما أن الإلكترونات تحيد تمامًا كالضوء. ففي إحدى التجربتين سلّط العالم الإنجليزي جورج تومسون حزمة من الإلكترونات على بلورة رقيقة جدًّا؛ وذلك لأن ذرات البلورات مرتبة بنمط منتظم يجعلها تعمل عمل محزوز حيود. وكوّنت الإلكترونات التي حدث لها حيود الأنماط نفسها التي تكوّنها أشعة X التي لها الطول الموجي نفسه. ويوضح **الشكل 8–3** النمط الذي يكوّنه حيود الإلكترونات. وفي الولايات المتحدة الأمريكية أجرى كلينتون دافيسون ولاستر جيرمر تجربة مشابهة مستخدمين إلكترونات منعكسة ومحادة عن بلورات سميكة. وأثبتت التجربتان أن للجسيمات المادية خصائص موجية.

■ **الشكل 8–3** تُظهر أنماط حيود الإلكترونات – كهذا النمط الخاص ببلورة زركونيوم مكعبة – الخصائص الموجية للجسيمات.



إن الطبيعة الموجية للأجسام التي تراها وتتعامل معها يوميًّا لا يمكن ملاحظتها لأن أطوالها الموجية قصيرة جدًّا. فمثلاً، لكي ندرس طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة مضرب كتلتها 0.145 kg وسرعتها لحظة مغادرة المضرب 38 m /s.

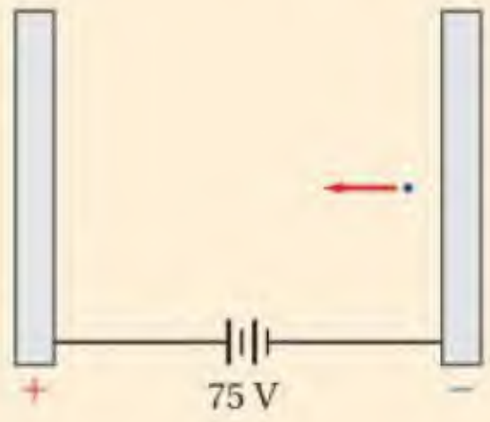
$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J.s}}{(0.145\ \text{kg})(38\ \text{m/s})} = 1.2 \times 10^{-34}\ \text{m}$$

فإن هذا الطول الموجي أصغر كثيرًا من أن يكون له تأثيرات ملاحظة. لكن كما سترى في المثال التالي، فللجسيمات الصغيرة جدًّا – كالإلكترون مثلاً – طول موجي يمكن ملاحظته وقياسه.

مثـــال 3

طول موجة دي برولي إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 75 V، فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة له؟

1 تحليل المسألة ورسمها



• ضمّن رسمك اللوحين الموجب والسالب.

المعلوم	المجهول
$V = 75\ V \quad m = 9.11\times10^{-31}\ kg$ $h = 6.63\times10^{-34}\ J.s$ $q = -1.6\times10^{-19}\ C$	$\lambda = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب علاقتين لطاقة حركة الإلكترون؛ الأولى بدلالة فرق الجهد، والأخرى بدلالة الحركة، واستخدمهما لحساب سرعة الإلكترون

$KE = \frac{1}{2}mv^2$ ،$KE = -qV$

ساو بين علاقتي الطاقة الحركية KE.

$\frac{1}{2}mv^2 = -qV$

حل بالنسبة إلى المتغير v

$v = \sqrt{\frac{-2qV}{m}}$

بالتعويض $m = 9.11\times10^{-31}\ kg$

$q = -1.60\times10^{-19}\ C$ ،$V = 75\ V$

$= \sqrt{\frac{-2(-1.60\times10^{-19}\ C)(75\ V)}{(9.11\times10^{-31}\ kg)}}$

$= 5.1\times10^{6}\ m/s$

حل بالنسبة إلى الزخم

$p = mv$

بالتعويض $m = 9.11\times10^{-31}\ kg$

$v = 5.1\times106\ m/s$

$= (9.11\times10^{-31}\ kg)(5.1\times10^{6}\ m/s)$

$= 4.6\times10^{-24}\ kg.m/s$

حل بالنسبة إلى طول موجة دي برولي

$\lambda = \frac{h}{p}$

بالتعويض $h = 6.63\times10^{-34}\ J.s$

$p = 4.6\times10^{-24}\ kg.\ m/s$

دليل الرياضيات

فصل المتغير.

$= \frac{6.63\times10^{-34}\ J.S}{4.6\times10^{-24}\ kg.m/s}$

$= 1.4\times10^{-10}\ m = 0.14\ nm$

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل البعدي للوحدات يثبت أن وحدة m/s للسرعة v، ووحدة nm للطول الموجي λ.

• **هل للإشارات معنى؟** القيم الموجبة متوقعة لكل من v و λ.

• **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي قريب من 0.1 nm، والذي يقع في منطقة الطول الموجي لأشعة X في الطيف الكهرومغناطيسي.

مسائل تدريبية

19. تتدحرج كرة بولنج كتلتها 7.0 kg بسرعة 8.5 m /s، أجب عما يلي:

a. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للكرة؟ **b.** لماذا لا تُظهر كرة البولنج سلوكًا موجيًا ملاحظًا؟

20. إذا تسارع إلكترون خلال فرق جهد 250 V، فاحسب مقدار سرعته وطول موجة دي برولي المصاحبة له.

21. ما مقدار فرق الجهد اللازم لمسارعة إلكترون بحيث يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 0.125 nm؟

22. طول موجة دي برولي للإلكترون في المثال 3 يساوي 0.14 nm. ما مقدار الطاقة الحركية بوحدة eV لبروتون ($m = 1.67\times10^{-27}\ kg$) إذا كان له الطول الموجي نفسه؟

الجسيمات والموجات Particles and Waves

هل الضوء جسـيم أم موجة؟ تشـير الدلائل إلى أن كلًّا من النموذج الجسيمي والنموذج الموجي يلزمان لتفسير سلوك الضوء. وقد قادت نظرية الكم والطبيعة المزدوجة للإشعاع الكهرومغناطيـسي إلى مبادئ علميـة وتطبيقات رائعة، كما ستكتشـف لاحقًا. والمجهر الأنبوبي الماسح (STM) من هذه التطبيقات، وسوف يتم مناقشته في جزء "كيف تعمل".

تحديد الموقع والزخم من المنطقي أن تفكر أنه حتى تحدد خصائص جسيم ما بدقة فسوف تكون بحاجة إلى أن تبتكر تجربة تقيس مباشرة الخصائص المطلوبة. فمثلاً لا تستطيع أن تقرر ببساطة أن جسيمًا في موقع ما يتحرك بسرعة محددة. وبدلاً من ذلك، يجب أن تجري تجربة لتحدد موقع الجسيم وتقيس سرعته.

كيف يمكنك تحديد موقع جسيم؟ لتصنع ذلك عليك أن تلمسه، أو أن تعكس ضوءًا عنه. إذا اسـتُخدم ضوء فإنه يجب تجميع الضوء المنعكس عن الجسيم بجهاز أو بالعين المجردة. إلا أنه بسـبب تأثيرات الحيود فإن الضوء المستخدم لتحديد موقع الجسيم ينتشر، مما يجعل من المستحيل تحديد موقعه بدقة. غير أن استخدام ضوء أو إشعاع ذي طول موجي أقصر يقلل من الحيود، مما يسمح بتحديد موقع الجسيم بدقة أكبر.

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج نتيجة تأثير كومبتون فإنه عندما يصطدم إشعاع طوله الموجي قصير وطاقته عالية بجسيم فإن زخم الجسيم يتغير، كما في **الشكل 9–3**. وبناء على ذلك، يؤثر تحديد موقع الجسيم بدقة في تغير زخمه. وكلما زادت الدقة في تحديد موقع جسيم ازداد عدم التحديد في قياس زخمه. وبالطريقة نفسـها إذا تم قياس زخم الجسيم بدقة فإن موقعه يتغير ويصبح أقل تحديدًا. لُخّصت هذه الحالة في **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج**، والذي ينص على أنه من غير الممكن قياس زخم جسـيم وتحديد موقعه بدقة في الوقت نفسـه. إن هذا المبدأ – والذي سمّي باسم الفيزيائي الألماني فيرنر هيزنبرج – هو نتيجة للطبيعة المزدوجة للضـوء والمادة. ويخبرنا مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج أن هنـاك حدًّا للدقة في قياس الموقع والزخم.



■ الشكل 9-3 يمكن أن يرى الجسيم فقط عندما يتشتت الضوء عنه. لذا فإن الإلكترون يبقى غير محدد (a). حتى يصطدم به فوتون (b). يُشتت التصادم كلًّا من الفوتون والإلكترون ويغير من زخميهما.

2–3 مراجعة

23. **الخصائص الموجية** صف التجربة التي أثبتت أن للجسيمات خصائص موجية.
24. **الطبيعة الموجية** فسّر لماذا لا تظهر الطبيعة الموجية للمادة؟
25. **طول موجة دي برولي** ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتسارع خلال فرق جهد 125 V؟
26. **الأطوال الموجية للمادة والإشعاع** عندما يصطدم إلكترون بجسيم ثقيل فإن سرعة الإلكترون وطول موجته يتناقصان. بناء على ذلك، كيف يمكن زيادة الطول الموجي لفوتون؟
27. **مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج** عندما يمر ضوء أو حزمة ذرات خلال شق مزدوج فإنه يتكون نمط تداخل. وتحدث كلتا النتيجتين حتى عندما تمر الذرات أو الفوتونات خلال الشقين في الوقت نفسه. كيف يفسر مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج ذلك؟
28. **التفكير الناقد** ابتكر الفيزيائيون مؤخرًا محزوز حيود للموجات الضوئية الموقوفة (المستقرة). وتكوّن الذرات التي تمر خلال المحزوز نمط تداخل. إذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقوق $\frac{1}{2}\lambda$ (250 nm تقريبًا) فما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للذرات تقريبًا؟

مختبر الفيزياء

نمذجة التأثير الكهروضوئي

تعــرف عملية انبعاث الإلكترونات من جســم عندما يســقط إشــعاع كهرومغناطيسي عليــه بالتأثير الكهروضوئي. وتتحرر الإلكترونات من الجســم فقط عندما يكون تردد الإشعاع أكبر من قيمة صغرى محددة، تســمى تردد العتبة. ســوف تنمذج في هذا الاســتقصاء التأثير الكهروضوئي باســتعمال كرات فولاذية. وسوف تختبر لماذا تحرر أنواعٌ محددة فقط من الإشعاع الكهرومغناطيسي إلكتروناتٍ ضوئيةً.

سؤال التجربة

كيف يمكن استعمال كرات فولاذية لنمذجة التأثير الكهروضوئي؟

الأهداف

- **تصمم نموذجًا** لاستقصاء التأثير الكهروضوئي.
- **تصف** كيف ترتبط طاقة الفوتون مع تردده.
- **تستخدم التفسيرات العلمية** لتفسير لماذا لا تستطيع الظواهر الجاهرية (الماكروسكوبية) تفســير السلوك الكمي للذرة.

احتياطات السلامة



- **احفظ الكحول الأيزوبروبيلي بعيدًا عن اللهب المشتعل.**
- **لا تبتلع الكحول الأيزوبروبيلي.**
- **يسبب الكحول الأيزوبروبيلي جفاف الجلد.**

المواد والأدوات

ثلاث كــرات فولاذيــة، مجرى أو مســار فيه أخــدود (قناة على شــكل حــرف U، أو داعم رف)، كتــب، أقلام تخطيط حمــراء، وبرتقالية، وصفراء، وخضراء، وزرقاء، وبنفســجية (أو لاصقات ملّونة)، مسطرة مترية، كحول أيزوبروبيلي.

الخطوات

1. شــكِّل المجــرى أو القناة كما هــو موضــح في الصورة، واســتعمل عدة كتب لدعمها، كما هــو موضح. تأكد أن الكتب لا تغلق نهايتي المجرى.
2. اكتب الحرف R باستعمال قلم التخطيط الأحمر على القناة على ارتفاع 4 cm فوق الطاولة كما هو موضح. تمثل R الأحمر.
3. اكتب الحرف V باســتعمال قلم التخطيط البنفســجي على القنــاة على ارتفاع 14 cm فــوق الطاولة كما هو موضح. الرمز V يمثل اللون البنفســجي. استعمل أقلام التخطيط الملوّنــة الأخرى لوضع علامات لــلأزرق B، وللأخضر G، وللأصفر Y، وللبرتقالي O على مســافات متساوية بين العلامتين R و V، كما هو موضح في الصورة
4. ضع كرتين فولاذيتين عند أخفــض نقطة على القناة. تمثل هاتان الكرتان إلكتروني التكافؤ للذرة.
5. أمسك كرة فولاذية، وضعها عند الموقع R على القناة. تمثل هذه الكرة الفوتون الساقط للضوء الأحمر. لاحظ أن طاقة فوتون الضــوء الأحمر أقل من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها.
6. أفلت الكرة الفولاذيــة (الفوتون)، ولاحظ ما إذا كان لها طاقة كافية لتحرير إلكترون تكافؤ من الذرة؛ أي راقب ما إذا أفلتت أيًّا من الكرتين من القناة. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.



جدول البيانات	
لون أو طاقة الفوتون	الملاحظات
أحمر	
برتقالي	
أصفر	
أخضر	
أزرق	
بنفسجي	
أقل من الأحمر	
أكبر من البنفسجي	

7. أزل الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من الجزء السفلي من القناة. وأعد الكرتين الفولاذيتين اللتين استعملتهما لتمثيل إلكترونات التكافؤ إلى مكانيهما (أخفض نقطة على القناة).
8. كرّر الخطوات 7-5 لكل لون من الألوان التي حددتها على القناة. تأكد دائمًا عندما تكرر الخطوات أن تكون الكرتان الفولاذيتان عند أخفض نقطة على القناة. لاحظ أن طاقة فوتون الضوء البنفسجي أكبر من طاقة ألوان الضوء الأخرى التي تم نمذجتها. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
9. كرّر الخطوات 7-5، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أخفض قليلاً من الموقع R. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
10. كرّر الخطوات 7-5، ولكن أفلت الكرة الفولاذية التي تمثل الفوتون الساقط من نقطة أعلى قليلاً من الموقع V. سجّل مشاهداتك في جدول البيانات.
11. أجب عن السؤال 1 في بند الاستنتاج والتطبيق، ثم اختبر توقعك.
12. عندما تنتهي من تنفيذ التجربة أعد جميع المواد إلى الأماكن التي حددها لك معلمك. أزِل الحروف التي كتبتها على القناة باستعمال الكحول الأيزوبروبيلي (أو أزل اللاصقات الملونة التي وضعتها على القناة).

التحليل

1. **فسّر البيانات** أي ألوان فوتونات الضوء حرّرت إلكترونًا واحدًا على الأقل في نموذجك؟
2. **فسّر البيانات** هل لأيّ من الفوتونات طاقة كافية لتحرير أكثر من إلكترون واحد؟
   إذا كان كذلك فحدّد لون الفوتون.
3. **استخدم النماذج** في الخطوة 9، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
4. **استخدم النماذج** في الخطوة 10، ما نوع الفوتون الذي تمثله الكرة الفولاذية؟
5. **فسّر** هل فوتونات الضوء المرئي فقط هي التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة التأثير الكهروضوئي؟ لماذا؟
6. **لخّص** نص مشاهداتك بدلالة طاقة الفوتونات.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ماذا يحدث إذا اصطدم فوتونَا ضوء أحمر بإلكترونَيْ تكافؤ في اللحظة نفسها؟ اختبر توقعك.
2. **التفكير الناقد** تكون قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ في ذرات بعض المواد أكبر من قوة ارتباطها في ذرات مواد أخرى. كيف يمكنك أن تُعدّل النموذج لبيان ذلك؟
3. **استخلص النتائج** في هذا النموذج، ماذا يحدث لطاقة الفوتون عندما يصطدم بإلكترون ولا يستطيع تحريره من الذرة؟

التوسع في البحث

استخدم الصيغة $E = hf$، حيث تمثل h ثابت بلانك، و f تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي، لحساب طاقة فوتون الضوء الأحمر، وقارنها بطاقة فوتون الضوء الأزرق.

الفيزياء في الحياة

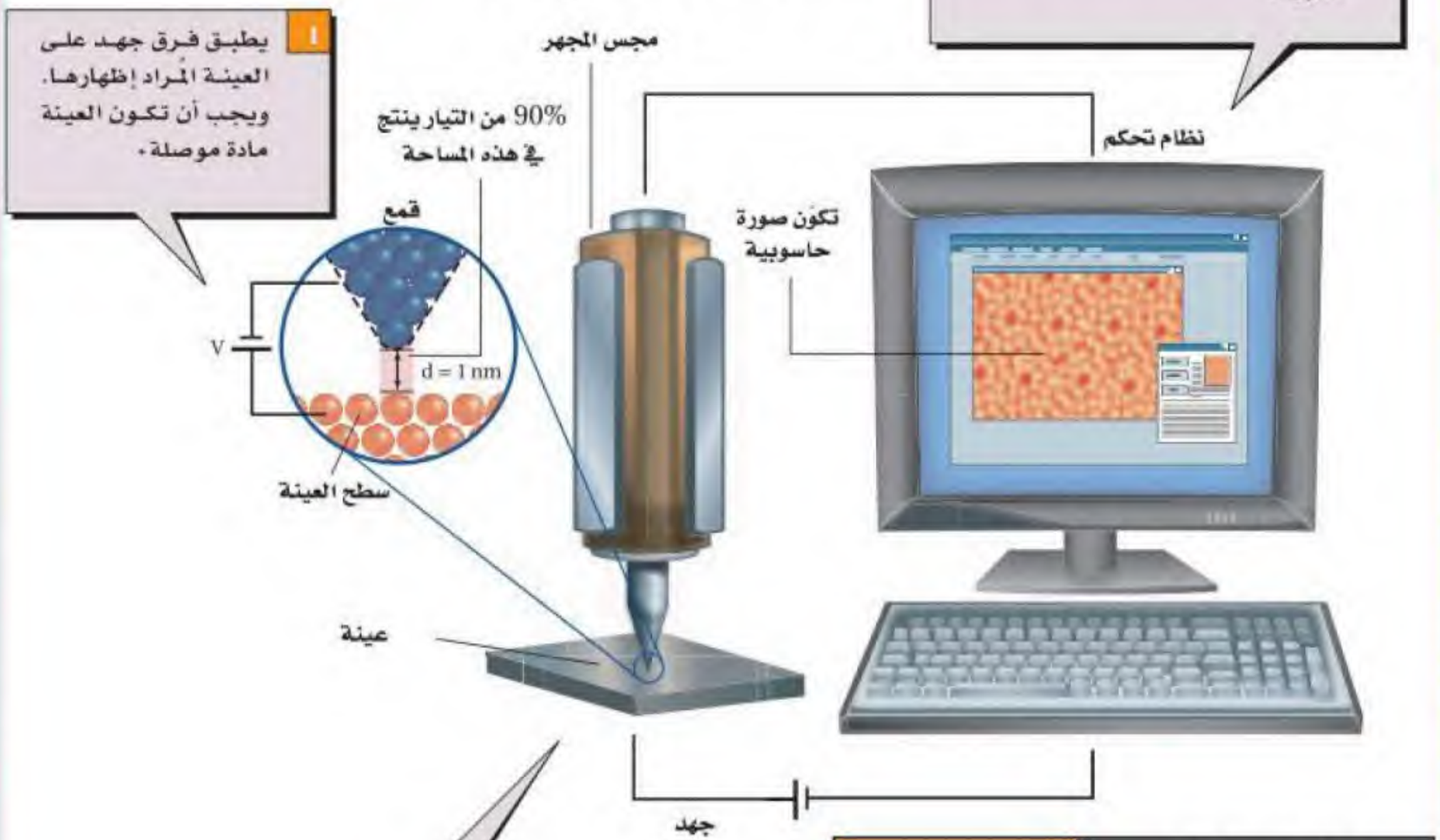
يستخدم مصورو الفوتوجرافيا عادةً إضاءة حمراء في غرفهم المظلمة، فلماذا لا يستخدمون الضوء الأزرق؟

كيف يعمل

المجهر الأنبوبي الماسح؟

Scanning Tunneling Microscope?

اخـترع العالمان جيرد بينج وهنرش روهريـر عام 1981م المجهر الأنبوبي الماسـح (STM)، وحصلا بعد خمس سنوات على جائزة نوبل في الفيزياء. والمجهر الأنبوبي الماسح قادر على تصوير سطوح المواد بقوة تمييز تصل إلى المسـتوى الذري. وقد مكّن هذا العلماء من تكوين صور للذرات، كصورة ذرات السليكون الظاهرة على الشاشة أدناه. كيف يعمل STM؟



التفكير الناقد

1. **كوّن فرضية** ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزودًا بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. **قوّم** هل يجب أن تكون المقاومة بين الأرض ونهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بها كبيرة، أم صغيرة؟
3. **استنتج** ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

3–1 النموذج الجسيمي للموجات A Particle Model of Waves

المفردات

- طيف انبعاث
- مكمّاة
- التأثير الكهروضوئي (الانبعاث الكهروضوئي)
- تردد العتبة
- الفوتون
- دالة (اقتران) الشغل
- تأثير كومبتون

المفاهيم الرئيسة

- تبعث الأجسام التي تسخن لدرجة التوهج ضوءًا بسبب اهتزازات الجسيمات المشحونة الموجودة في ذراتها.
- يُغطي طيف الأجسام المتوهجة مدًى واسعًا من الأطوال الموجية. ويعتمد الطيف على درجة حرارة الأجسام المتوهجة.
- فسّر العالم بلانك طيف الجسم المتوهج مفترضًا أن للجسيمات مقادير محددة من الطاقة فقط، وهي تساوي مضاعفات ثابت بلانك.

$$E = nhf$$

- فسّر أينشتاين التأثير الكهروضوئي مفترضًا أن الضوء موجود على شكل حزم من الطاقة تسمى الفوتونات.

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(1240\ \text{eV.nm})}{\lambda}$$

- التأثير الكهروضوئي هو انبعاث إلكترونات من فلزات معينة عندما تتعرض لإشعاع كهرومغناطيسي.

$$KE = hf - hf_0$$

- تمكن العلماء من حساب قيمة ثابت بلانك h اعتمادًا على التأثير الكهروضوئي.
- تقاس دالة الشغل – والتي يكافئ طاقة ربط الإلكترون – باستخدام تردد العتبة في التأثير الكهروضوئي.
- يبيّن تأثير كومبتون أن للفوتون زخمًا كما توقع أينشتاين.

$$\mathrm{p} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

- تسير الفوتونات بسرعة الضوء. ورغم أنه ليس لها كتلة إلا أن لها طاقة وزخمًا.

3–2 موجات المادة Matter Waves

المفردات

- طول موجة دي برولي
- مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج

المفاهيم الرئيسة

- اقترح العالم دي برولي الطبيعة الموجية للجسيمات المادية، وتم التحقق منها عمليًّا عن طريق حيود الإلكترونات خلال البلورات. ولكل الجسيمات المتحركة طول موجي، يعرف بطول موجة دي برولي.

$$\lambda = \frac{h}{\mathrm{p}} = \frac{h}{mv}$$

- تتكامل الطبيعتان الجسيمية والموجية معًا لوصف الطبيعة الكاملة لكل من المادة والطاقة.
- ينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من غير الممكن تحديد موقع وزخم أي جسيم ضوئي أو مادي بدقة في آن واحد.

الفصل 3 التقويم

خريطة المفاهيم

29. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التاليـة: *الطبيعـة المزدوجة، الكتلـة، الخصائص الموجية، الزخم، الحيود.*



إتقان المفاهيم

30. **الضـوء المتوهـج** يضبـط مصبـاح كهربائي متوهج باسـتخدام مفتاح تحكم. ماذا يحـدث للون الضوء الصادر عن المصباح عنـد إدارة مفتاح التحكم إلى أقل قراءة؟ (1-3)

31. وضّح مفهوم تكمية الطاقة. (1-3)

32. ما الذي تم تكميته في تفسير ماكس بلانك لإشعاع الأجسام المتوهجة؟ (1-3)

33. ماذا تسمى كمّات الضوء؟ (1-3)

34. سُـلِّط ضوء على مهبط خلية ضوئيـة، وكان تردد الضوء أكبر من تردد العتبة لفلز المهبط. كيف تفسر نظرية أينشـتاين للتأثير الكهروضوئي حقيقة زيادة تيار الإلكترونات الضوئية كلما زادت شدة الضوء؟ (1-3)

35. وضح كيف فسّرت نظرية أينشتاين حقيقة أن الضوء الذي تردده أقل من تردد العتبة لفلز لا يحرر إلكترونات ضوئية منه، بغض النظر عن شـدة الضوء؟ (1-3)

36. **الفيلـم الفوتوجـرافي** لأن أنواعًـا معينة من أفلام الأبيض والأسود ليست حساسـة للضوء الأحمر، فإنه يمكـن تحميضها في غرفة مظلمة مضاءة بضوء أحمر. فـسّر ذلك بناءً على نظريـة الفوتون للضوء. (1-3)

37. كيف أظهر تأثـير كومبتون أن للفوتونات زخمًا، كما أن لها طاقة؟ (2-3)

38. الزخم p لجسـيم مادي يعطـى بالمعادلة $p = mv$. هل تستطيع حساب زخم فوتون مستخدمًا المعادلة نفسها؟ وضح إجابتك. (2-3)

39. وضـح كيف يمكـن قيـاس الخصائـص التالية للإلكترون؟ (2-3)

a. الشحنة

b. الكتلة

c. الطول الموجي

40. وضـح كيف يمكـن قيـاس الخصائـص التالية للفوتون؟ (2-3)

a. الطاقة

b. الزخم

c. الطول الموجي.

تطبيق المفاهيم

41. اسـتخدم طيف الانبعاث لجسم متوهج عند ثلاث درجات حرارة مختلفة، كما في **الشكل 1-3** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. عند أي تردد تكون شدة الانبعاث أكبر ما يكون لكل من درجات الحرارة الثلاث؟

b. ماذا تستنتج عن العلاقة بين التردد الذي تكون عنده شدة الإشعاع المنبعث أكبر ما يمكن وبين درجة حرارة الجسم المتوهج؟

c. بأي مُعامل تتغير شدة الضوء الأحمر المنبعث عندما تزداد درجة الحرارة من 4000 k إلى 8000 k؟

42. وضع قضيبان مـن الحديد في النار، فتوهج أحدهما باللون الأحمـر الداكن، بينما توهـج الآخر باللون البرتقالي الساطع. أي القضيبين:

a. أكثر سخونة؟

b. يشع طاقة أكبر؟

تقويم الفصل 3

43. هل يحرر ضوء تردده كبير عددًا أكبر من الإلكترونات من سطح حساس للضوء مقارنة بضوء تردده أقل، إذا افترضنا أن كلا الترددين أكبر من تردد العتبة؟

44. تنبعث إلكترونات ضوئية من البوتاسيوم عندما يسقط عليه ضوء أزرق، في حين تنبعث إلكترونات ضوئية من التنجستن عندما يسقط عليه أشعة فوق بنفسجية. أي الفلزين:

a. له تردد عتبة أكبر؟

b. له دالة شغل أكبر؟

45. قارن طول موجة دي برولي المصاحبة لكرة البيسبول الموضحة في **الشكل 10–3** بقطر الكرة.



الشكل 10–3

إتقان حل المسائل

3–1 النموذج الجسيمي للموجات

46. اعتمادًا على نظرية بلانك، كيف يتغير تردد اهتزاز ذرة إذا بعثت طاقة مقدارها 5.44×10^{-19} J عندما تغيّرت طاقة مستوى الذرة بمقدار n=1 ؟

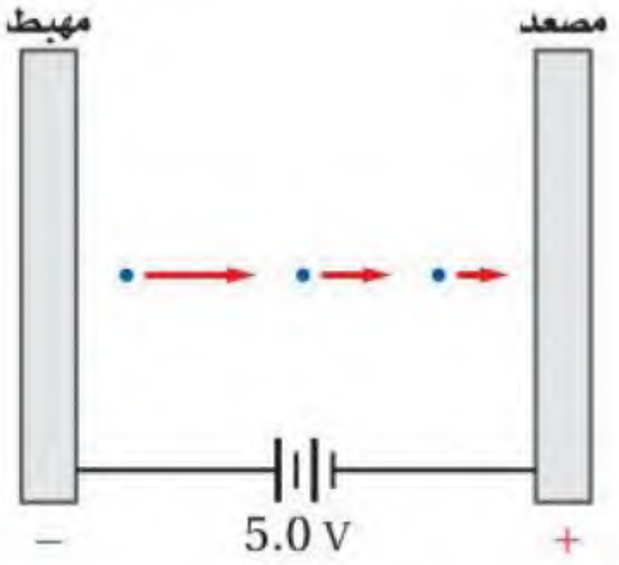
47. ما مقدار فرق الجهد اللازم لإيقاف إلكترونات طاقتها الحركية العظمى 4.8×10^{-19} J؟

48. ما زخم فوتون الضوء البنفسجي الذي طوله الموجي 4.0×10^{2} nm؟

49. جهد الإيقاف لإلكترونات فلز معين موضح في **الشكل 11–3**. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية بدلالة الوحدات التالية؟

a. الإلكترون فولت

b. الجول



الشكل 11–3

50. تردد العتبة لفلز معين 3.00×10^{14} Hz. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة إذا أضيء الفلز بضوء طوله الموجي 6.50×10^{2} nm؟

51. ما مقدار الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطح الصوديوم إذا كان تردد العتبة له 4.4×10^{14} Hz؟

52. إذا سقط ضوء تردده 1.00×10^{15} Hz على الصوديوم في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

53. **مقياس الضوء** يستعمل مقياس الضوء الفوتوجرافي خلية ضوئية لقياس الضوء الساقط على الجسم المراد تصويره. كم يجب أن تكون دالة الشغل لمادة المهبط حتى تكون الخلية الضوئية حساسة للضوء الأحمر (λ=680 nm)، كحساسيتها للألوان الأخرى للضوء؟

تقويم الفصل 3

54. **الطاقة الشمسية** يُستهلك 4×10^{11} J من الطاقة كل عام في الاستخدامات المنزلية في دولة ما. إذا كانت أشعة الشمس تسقط على بعض أجزاء هذه الدولة لمدة 3000 h كل عام، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار الطاقة الشمسية التي تسقط على المتر المربع الواحد كل عام؟

b. إذا كان من الممكن تحويل هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة مفيدة بكفاءة 20%، فما مقدار المساحة التي يجب استخدامها لإنتاج طاقة مساوية لتلك التي تستهلك في المنازل؟

3–2 موجات المادة

55. ما مقدار طول موجة برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 3.0×10^{6} m /s؟

56. ما مقدار السرعة التي يجب أن يتحرك بها إلكترون لتكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 3.0×10^{-10} m؟

57. يتسارع إلكترون في أنبوب أشعة مهبطية من السكون خلال فرق جهد 5.0×10^{3} V. ما مقدار:

a. سرعة الإلكترون؟

b. الطول الموجي المصاحب للإلكترون؟

58. احتُجز نيوترون طاقته الحركية 0.02 eV فقط.

a. ما سرعة النيوترون؟

b. أوجد طول موجة دي برولي المصاحبة للنيوترون.

59. إذا كانت الطاقة الحركية لإلكترون ذرة الهيدروجين 13.65 eV فاحسب:

a. مقدار سرعة الإلكترون.

b. مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون.

c. محيط ذرة الهيدروجين ثم قارنه بطول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون الذرة. علمًا بأن نصف قطر ذرة الهيدروجين 0.519 nm.

60. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 0.18 nm:

a. فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

b. إذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة لبروتون 0.18 nm فما مقدار فرق الجهد الذي تحرك خلاله إذا بدأ الحركة من السكون؟

مراجعة عامة

61. ما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من فلز إذا كان جهد إيقافها 3.8 V؟

62. إذا كان تردد العتبة لفلز ما 8.0×10^{14} Hz، فما دالة الشغل له؟

63. إذا سقط ضوء تردده 1.6×10^{15} Hz على الفلز في المسألة السابقة، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الضوئية؟

64. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لديوترون (نواة نظير الهيدروجين ^{2}H) كتلته 3.3×10^{-27} kg ويتحرك بسرعة 2.5×10^{4} m /s.

65. إذا كانت دالة الشغل للحديد 4.7 eV:

a. فما مقدار طول موجة العتبة له؟

b. وإذا أُسقط إشعاع طوله الموجي 150 nm على الحديد، فما مقدار الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة eV؟

66. إذا كانت دالة الشغل للباريوم 2.48 eV، فما أكبر طول موجي للضوء يستطيع تحرير إلكترونات منه؟

67. طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون 400.0 nm، وهي تساوي أقصر طول موجي للضوء المرئي. احسب مقدار:

a. سرعة الإلكترون.

b. طاقة الإلكترون بوحدة eV.

تقويم الفصل 3

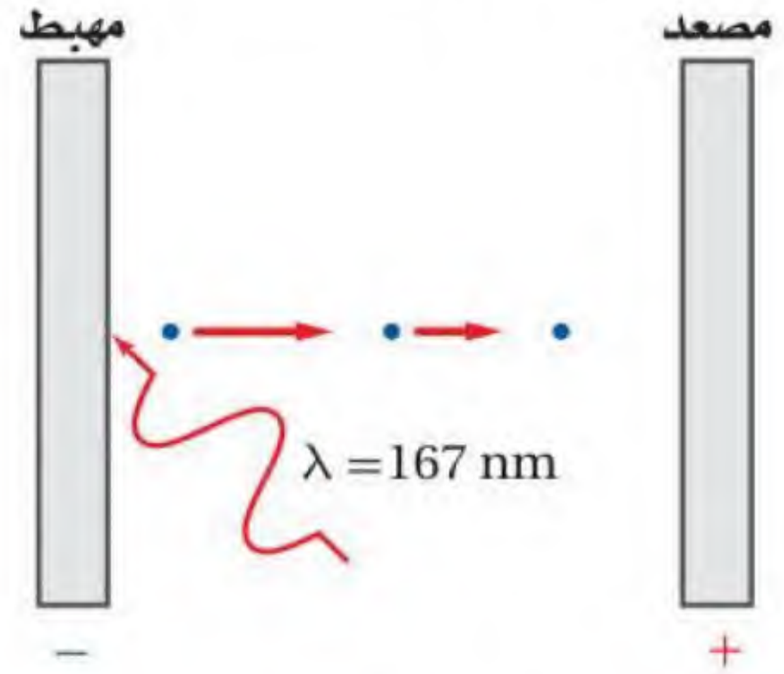
68. **المجهر الإلكتروني** يعدّ المجهر الإلكتروني مفيدًا لأنه يمكن جعل الأطوال الموجية لموجات دي برولي المصاحبة للإلكترونات أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي. ما مقدار الطاقة (بوحدة eV) اللازم تزويدها لإلكترون حتى يكون طول موجة دي برولي المصاحبة له 20.0 nm؟

69. سقط إشعاع على قصدير، كما في **الشكل 12–3**. إذا كان تردد العتبة للقصدير 1.2×10^{15} Hz فما مقدار:

a. طول موجة العتبة للقصدير؟

b. دالة الشغل للقصدير؟

c. الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة بوحدة eV، إذا كان الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط 167 nm؟



الشكل 12–3

التفكير الناقد

70. **تطبيق المفاهيم** يبعث مصدر ليزر هيليوم- نيون فوتونات طولها الموجي 632.8 nm.

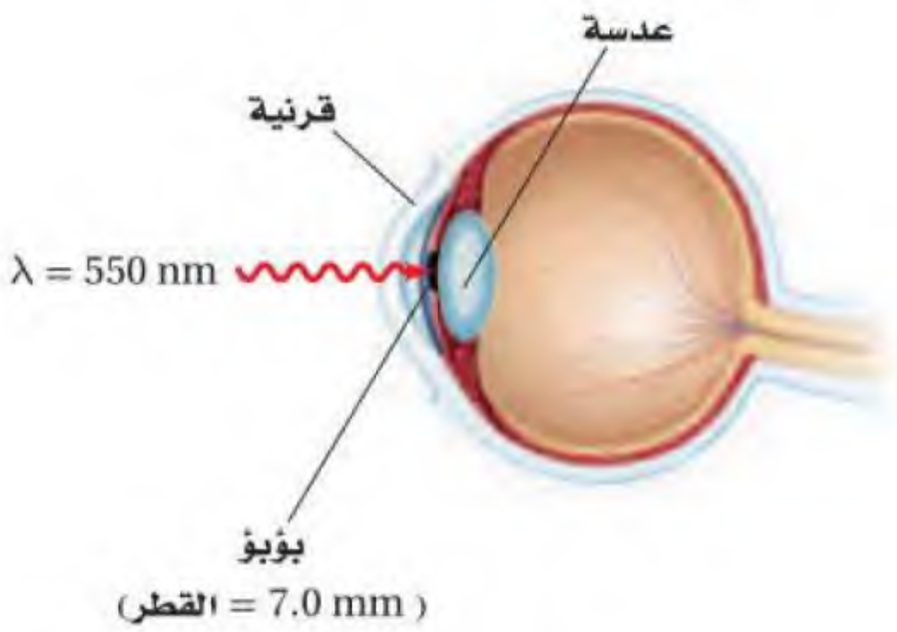
a. احسب مقدار الطاقة بوحدة الجول لكل فوتون يُبعث من الليزر.

b. إذا كانت قدرة مصدر ليزر صغير تقليدي 0.5 mW (5×10^{-4} J/s)، فما عدد الفوتونات المنبعثة من مصدر الليزر في كل ثانية؟

71. **تطبيق المفاهيم** يدخل الضوء المرئي الذي شدته 1.5×10^{-11} W/m^2 بصعوبة إلى عين إنسان، كما في **الشكل 13–3**.

a. إذا سلط هذا الضوء على عين الإنسان ومر خلال بؤبؤ عينه، فما مقدار القدرة التي تدخل عينه بوحدة الواط؟

b. استخدم الطول الموجي المُعطى للضوء المرئي والمعلومات المُعطاة في **الشكل 13–3** لكي تحسب عدد الفوتونات التي تدخل العين في كل ثانية.



الشكل 13–3

72. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** أكمل طالب تجربة التأثير الكهروضوئي، وسجّل جهد الإيقاف كدالة رياضية في الطول الموجي، كما في **الجدول 1–3**. وكان مهبط الخلية الضوئية مصنوعًا من الصوديوم. عيّن البيانات (جهد الإيقاف مقابل التردد) واستعمل الآلة الحاسبة لرسم أفضل خط مستقيم. استخدم الميل والمقطع وأوجد دالة الشغل، وطول موجة العتبة، ومقدار $\frac{h}{q}$ في هذه التجربة. قارن قيمة $\frac{h}{q}$ مع القيمة المقبولة.

تقويم الفصل 3

الجدول 1–3	
جهد الإيقاف مقابل الطول الموجي	
λ (nm)	V_0 (eV)
200	4.20
300	2.06
400	1.05
500	0.41
600	0.03

الكتابة في الفيزياء

73. في ضوء ما درسته عن مبدأ عدم التحديد. أبحث عن الحتمية وعدم التحديد في الفيزياء لهيزنبرج وأكتب بحثًا عن ذلك.

مراجعة تراكمية

74. يتحرك شعاع من الإلكترونات بسرعة $2.8\times10^{8}\ m/s$ في مجال كهربائي مقداره $1.4\times10^{4}\ N/C$ ما مقدار المجال المغناطيسي الذي يجب أن تتحرك خلاله الإلكترونات حتى تحافظ على حركتها فيه دون انحراف؟ (فيزياء 2–3)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. يتغير مستوى الطاقة لذرة عندما تمتص وتبعث طاقة. أي الخيارات الآتية لا يمكن أن يمثل مستوى طاقة لذرة؟

(A) $\frac{3}{4}hf$ (C) $3\,hf$

(B) hf (D) $4\,hf$

2. كيف يرتبط تردد العتبة مع التأثير الكهروضوئي؟

(A) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(B) أنه أكبر تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير الذرات من مصعد الخلية الضوئية.

(C) أنه تردد الإشعاع الساقط، والذي يحرر إلكترونات من الذرة عند ترددات أقل منه.

(D) أنه أقل تردد للإشعاع الساقط اللازم لتحرير إلكترونات من الذرة.

3. ما طاقة فوتون تردده 1.14×10^{15} Hz؟

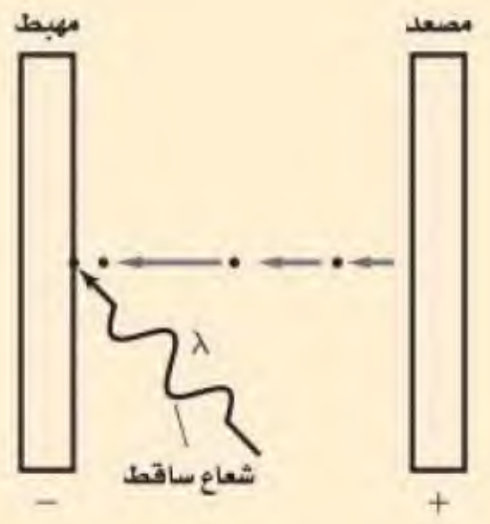
(A) 5.82×10^{-49} J (C) 8.77×10^{-16} J

(B) 7.55×10^{-19} J (D) 1.09×10^{-12} J

4. يسقط إشعاع طاقته 5.17 eV على خلية ضوئية، كما هو موضح في الشكل أدناه. إذا كانت دالة الشغل لمادة المهبط 2.31 eV فما مقدار طاقة الإلكترون المتحرر؟

(A) 0.00 eV (C) 2.86 eV

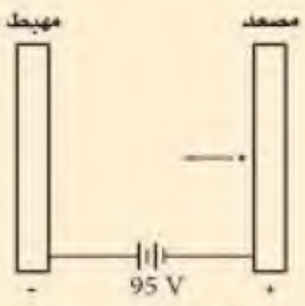
(B) 2.23 eV (D) 7.48 eV



5. يتسارع إلكترون خلال فرق جهد 95.0 V، كما هو موضح في الشكل أدناه. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون؟

(A) 5.02×10^{-22} m (C) 2.52×10^{-10} m

(B) 1.26×10^{-10} m (D) 5.10×10^{6} m



6. ما مقدار طول موجة دي برولي المصاحبة لإلكترون يتحرك بسرعة 391 km /s (كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31}kg)؟

(A) 3.5×10^{-25} m (C) 4.8×10^{-15} m

(B) 4.79×10^{-15} m (D) 1.86×10^{-9} m

7. دالة (اقتران) الشغل لفلز هي:

(A) هو مقياس مقدار الشغل الذي يستطيع أن يبذله إلكترون متحرر من الفلز.

(B) يساوي تردد العتبة.

(C) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الداخلي لذرة الفلز.

(D) مقدار الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطًا في الذرة.

الأسئلة الممتدة

8. تحرك جسم بسرعة 45 m /s، فكان طول موجة دي برولي المصاحبة له 2.3×10^{-34} m، ما كتلة الجسم بوحدة kg؟

✓ إرشاد

ارتد ساعة

إذا كنت تخضع لاختبار ذي وقت محدد فنظّم وقتك. لا تقض وقتًا كبيرًا جدًّا في مسألة واحدة. اترك المسائل الصعبة، ثم عد إليها بعد أن تجيب عن المسائل السهلة.

الفصل 4

الـذرة
The Atom



مـا الـذي سـتتعلمه في هـذا الفصل؟

- تعلُّم كيفية اكتشاف مكوّنات الذرة.
- تحدد طاقات ذرة الهيدروجين.
- تعلُّـم كيف قادت نظريـة الكم إلى النموذج الذري الحديث.
- تعلُّم كيف يعمل الليزر، وتطبيقاته.

الأهمية

يفسر النموذج الكمّـيّ للذرة وانتقال الإلكترونـات بين مسـتويات الطاقة كثيرًا من سلوك ومشاهدات المواد.

طيف الانبعاث هـذه الأنابيب مملوءة بأنواع مختلفة مـن الغازات، وكل منها يبعث طيفًا واحدًا مميـزًا من الألوان. وينبعث الضوء المتوهـج عندما تنتقل إلكترونات الغاز إلى مسـتويات طاقة أدنى.

فكّر ◄

لماذا تكون ألـوان الإضـاءات مختلفة؟ وكيف تسـتطيع تحديد نوع الغاز المسـتخدم في كل أنبوب؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

تحديد نوع قطعة نقدية فلزية تدور كنموذج لتعرّف نوع الذرات.

سؤال التجربة عندما تدور أي من القطع النقدية من فئات 5، أو10، أو25، أو50، أو100 هللة، على سطح الطاولة، فما الخصائـــص التي تمكنك من تعرّف نوع القطعة النقدية التي تدور؟

الخطوات

1. ضع قطعة نقديـــة فلزية من فئة ريال واحد رأســيًّا على سطح طاولة. ولتثبيتها المسها بطرف إصبعك ثم حرّك طرفها بسبابتك لتجعلها تدور بسرعة. ولاحظ مظهر القطعة الدوّارة وصوتها إلى أن تقترب من التوقف عن الدوران على سطح الطاولة.
2. كرر الخطوة 1 ثلاث مرات مستخدمًا قطعًا من فئات (25، 50) هللة على التوالي.
3. اطلب إلى زميلـــك تدوير القطع النقدية، قطعة واحدة في كل مرة بترتيب عشـــوائي. شاهد كل قطعة في أثناء دورانها فقط، ثم حاول تحديد نوع تلك القطعة.
4. كـــرر الخطوة 3، وحـــاول تحديد نـــوع كل من القطع النقدية الدوّارة على أن تكون عيناك مغمضتين.

التحليل

ما مدى نجاحك في تحديد نـــوع القطع النقدية من خلال الاستماع إلى الأصوات التي تصدرها هذه القطع؟ ما خصائص القطعة الدوّارة التي يمكن أن تســـتخدم لتحديد نوعها؟ ما الأدوات التي يمكن أن تجعل عملية تحديد نوع القطعة النقدية أكثر سهولة؟

التفكير الناقد تبعث الذرات المثارة لعنصر ما في أنبوب غاز التفريـــغ طاقة عن طريق انبعاث الضوء. كيف يمكن للضوء المنبعث أن يساعدك على تحديد نوع الذرة في أنبوب التفريغ؟ وما الأدوات التي يمكن أن تساعدك على ذلك؟



1–4 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

في نهاية القرن التاســـع عشر اتفق معظم العلماء عـــلى وجود الذرات. وقد أعطى اكتشاف تومســـون للإلكترون دليلا مقنعًا على أن الذرة تتكون من جســـيمات دون ذرية. وقد وجد أن كل ذرة اختبرها تومســـون تحتوي على إلكترونات سالبة الشحنة، وأن لهذه الإلكترونات كتلة صغيرة جدًّا. ولأن الذرات التي كانت معلومة لها كتلة أكبر من الكتلة التي تم حسابها بواسطة الإلكترونات التي تحويها، فقد بدأ العلماء بالبحث عن الكتلة المفقودة التي يجب أن تكون جزءًا من كتلة الذرة الكلية. ما طبيعة الكتلة التي سيتم اكتشافها لاحقًـــا بوصفها جزءًا من الذرة؟ وكيف تتوزع هـــذه الكتلة داخل الذرة؟

إضافة إلى ذلك، فمعلوم أن الـــذرة متعادلة كهربائيًّا، وحتى تلك الفترة تم تحديد إلكترونات ســـالبة الشحنة داخل الذرة، فكيف تتوزع الإلكترونات السالبة الشـــحنة في الذرة؟ وما مصدر تعادل الذرة؟ وهل هناك جسيمات موجبة الشـــحنة أيضًا في الذرة؟ كان فهم العلماء الكامل عن الذرة لا يزال بعيدًا قبل الإجابة عن تلك التســـاؤلات. من هنا بدأ العلماء في البحث عن إجابة على العديد من الأسئلة التي وضعتهم في تحدٍّ.

الأهداف

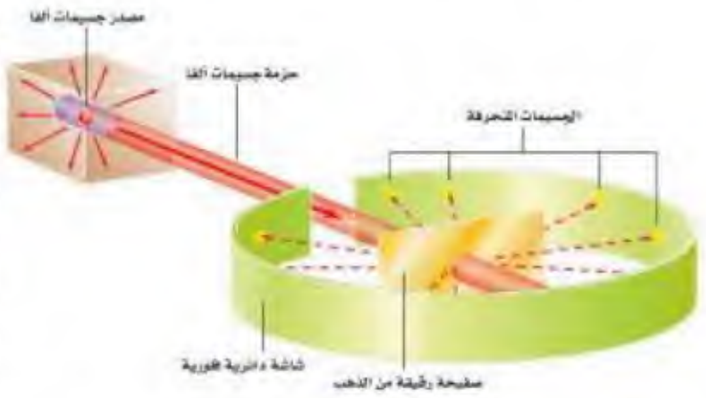
- **تصف** تركيب نواة الذرة.
- **تقارن** بين طيف الانبعاث المستمر وطيف الانبعاث الخطي.
- **تحل** مسائل باستخدام نصف قطر المستوى ومعادلات مستويات الطاقة.

المفردات

جسيمات ألفا	النواة
طيف الامتصاص	مستوى الطاقة
حالة الاستقرار	حالة الإثارة
عدد الكم الرئيس	

النموذج النووي The Nuclear Model

■ **الشكل 1–4** بعد قذف رقيقة الفلز بجسيمات ألفا، استنتج فريق راذرفورد أن معظم كتلة الذرة كانت متمركزة في النواة.



كثير من التســاؤلات واجهت الباحثين حول طبيعة الذرة. ما الذي يسبب انبعاث ضوء من الذرات؟ كيف تتوزع الإلكترونات في الذرة؟ بحث فيزيائيون وكيميائيون من دول مختلفة عن حلول لهذه الألغاز (الأسئلة). لم تزودنا النتائج التي توصلوا إليها بالمعرفة عند تركيب الذرة فقط، ولكنها زودتنا بنهج جديد لفهم كل من الفيزياء والكيمياء. وأصبح تاريخ البحث في طبيعة الذرة من أكثر القصص إثارة في القرن العشرين.

اعتقد تومســون أن المادة الثقيلة الموجبة الشحنة تملأ الذرة. وقد صوّر الإلكترونات السالبة الشــحنة على أنها تتوزع خلال هذه المادة الموجبة الشــحنة، تمامًا مثل حبات الزبيب في الفطيرة المســطحة. وقد شارك العالم إرنست راذرفورد كلًّا من هانز جايجر وإرنست ماردسن في إجراء سلسلة من التجارب أظهرت نتائجها أن للذرة تركيبًا مختلفًا تمامًا.

أجريت تجربة راذرفورد باستخدام مركبات مشعة تصدر أشعة نافذة. وقد وجد أن بعض هذه الانبعاثات جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية. وسميت هذه الجســيمات فيما بعد **جسيمات ألفا**، ورُمز لها بالرمز α. ويمكن الكشف عن هذه الجسيمات في تجربة راذرفورد بواســطة ومضات ضوئية تنبعث عندما تصطدم الجســيمات مع شاشة مطلية بطبقة من كبريتات الزنك. كما يتضح من **الشكل 1–4**؛ فقد قذف راذرفورد حزمة من جسيمات ألفا على صفيحة رقيقة جدًّا من الذهب، وكان مهتما بنموذج تومسون للذرة، وتوقع حدوث انحرافات بسيطة جدًّا فقط لجسيمات ألفا عندما تعبر خلال صفيحة الذهب الرقيقة، واعتقد أن مســار جســيمات ألفا الثقيلة ذات السرعة العالية سوف يتغير بمقدار ضئيل عندما يعبر خلال الشحنة الموجبة الموزعة بانتظام والتي تكوّن كل ذرة الذهب.

وكانت نتائج التجربة مدهشة؛ فقد عبَر معظم جسيمات α خلال صفيحة الذهب دون انحراف أو مع انحراف قليل عن مســارها، إلا أن بعضها ارتدّ بزوايا كبيرة جدًّا (تزيد على 90°). والرسم التوضيحي لهذه النتائج موضح في **الشكل 2–4**. شبّه راذرفورد نتائج هذه التجربة المذهلة بإطلاق قذيفــة ضخمة من مدفع 15 بوصة على منديل ورقي فارتدت القذيفة إلى الخلف واصطدمت به.

الشكل 3–4 تطور النظرية الذرية الحديثة.

إن فهمنا الحالي لخواص الذرات والجسيمات المكونة لها وسلوك هذه الذرات والجسيمات يقوم على عمل العلماء من مختلف أنحاء العالم خلال القرنين الماضيين.



1911م من خــلال تجربــة صفيحة الــذهــب تمكــن رذرفــورد من تحديد خواص النواة، وتشمل الشحنة، والحجم، والكثافة.

1918 تســلم العــالم بلانك جائزة نوبل عــلى نظريته في تكمية الطاقة التي شــكلت أساسًا علميًّا لدراسة الذرة.

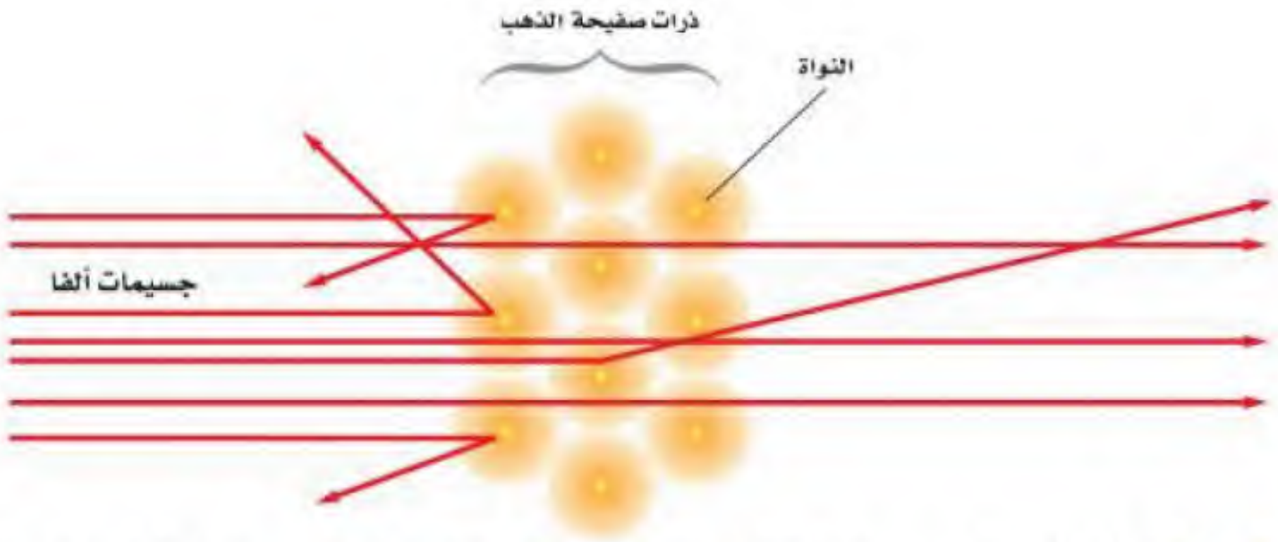
1860 — 1885 — 1910



1897م باســتعمال أنبوب أشعة المهبط اكتشف تومسون نســبة الإلكترونــات، وحدد نســبة كتلــة الإلكــترون إلى شحنته الكهربائيــة.



1913م نــشر نيلزبوهر نظرية عن تركــيب الذرة تربط التوزيــع الإلكتروني للــذرات بخواصهــا الكيميائية.



الشكل 2–4 معظم جسيمات ألفا الموجهة إلى صفيحة رقيقة من الذهب عبرت خلالها دون انحراف. وجسيم واحد من كل 1000 يرتد بزاوية كبيرة.

استنتج راذرفورد – مستخدمًا قانون القوة لكولوم وقوانين نيوتن في الحركة – أن النتائج يمكن تفسيرها فقط إذا كانت جميع شحنة الذرة متركزة في حيز صغير وثقيل، يسمى **النواة**. لذلك سمي نموذجه النموذجَ النووي. وقد حدّد مجموعة من العلماء أن الشحنة الموجبة للذرة وأكثر من 99.9% من كتلة الذرة موجودة في النواة. أما الإلكترونات التي لا تساهم بكمية كبيرة من كتلة الذرة فتكون موزعة خارجًا وبعيدًا عن النواة. لذلك فإن الفراغ الذي تشغله الإلكترونات يحدد الحجم الكلي أو قطر الذرة. ولأن قطر الذرة أكبر 10000 مرة تقريبًا من قطر النواة فإن معظم حجم الذرة يكون فراغًا. وتتابع بعد ذلك تطور النظرية الذرية الحديثة على يد العديد من العلماء، لاحظ **الشكل 3–4**.

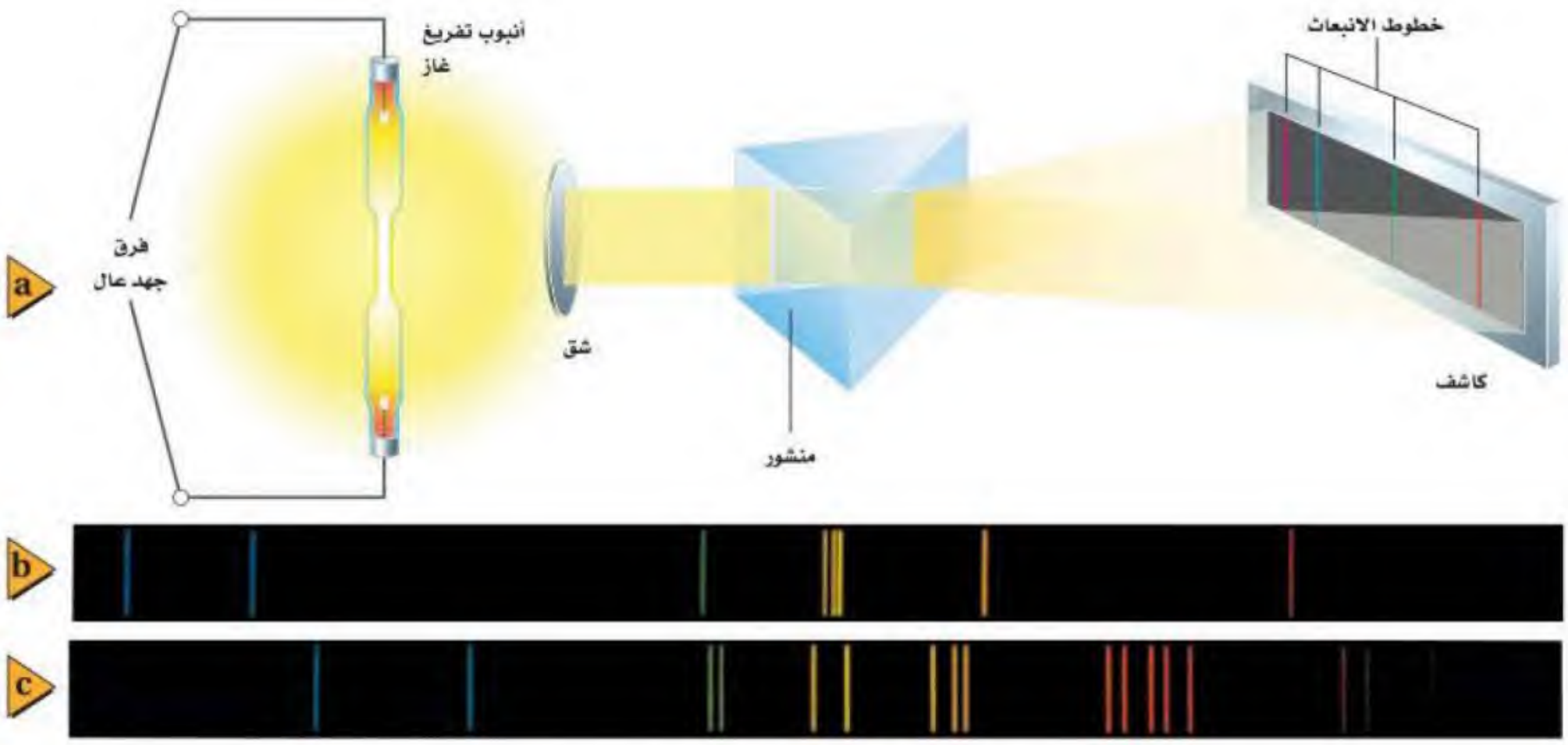
طيف الانبعاث كيف تتوزع الإلكترونات حول نواة الذرة؟ تم التوصل إلى أحد مفاتيح الإجابة عن هذا السؤال من خلال دراسة الضوء المنبعث من الذرات. تذكَّر – من الفصل السابق – أن مجموعة الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية التي تنبعث من الذرة تسمى طيف الانبعاث الذري.

كما هو موضح في **الشكل 4–4**، يمكن استخدام ذرات عينة غاز لتبعث ضوءًا في أنبوب تفريغ الغاز. وأنت غالبًا معتاد على رؤية إشارات النيون الملوّنة التي تستخدم في بعض الأعمال؛ فهذه الإشارات تعمل على المبادئ نفسها التي تعمل عليها أنابيب تفريغ الغاز.



الشكل 4–4 عند تطبيق فرق جهد عال على عينة غاز يبعث الغاز ضوءًا ذا توهج خاص به؛ فيتوهج غاز الهيدروجين بضوء أحمر مزرق (a)، ويتوهج غاز الزئبق بضوء أزرق (b)، ويتوهج غاز النيتروجين بضوء برتقالي– وردي اللون(C).





■ **الشكل 5–4** يمكن استخدام منشور المطياف لمشاهدة طيف الانبعاث (a). طيفا الانبعاث: للزئبق (b)، وللباريوم (c) يظهران بخطوط مميزة.

حيث يحتـــوي أنبوب تفريغ الغاز على غاز ذي ضغط منخفض محصور في أنبوب زجاجي له قطبان فلزيان مثبتان عند طرفيه. ويتوهج الغاز عند تطبيق فرق جهد عالٍ عبر الأنبوب. أمـــا الأمر الذي أثار اهتمام العلماء كثيرًا فتلـــك الحقيقة التي تبين أن كل غاز يتوهج بضوء مختلف خاص به. ويوضح **الشكل 4–4** التوهج المميِّز المنبعث عن بعض الغازات.

نحصل على طيف الانبعاث للذرة عندما يمر الضوء المنبعث من الغاز خلال منشور أو محزوز حيود. ويمكن دراسة طيف الانبعاث بتفصيل أكبر باستخدام جهاز يسمى المطياف. وكما هو موضح في **الشكل 5a–4**، فإن الضوء في منشور المطياف يعبر خلال الشق، ثم يتشتت عندما يعبر خلال المنشور، ثم تعمل عدسة النظام – غير الموضحة في الرسم – على تجميع الضوء المتشتت لكي نتمكن من مشاهدته أو تسجيله على شاشة فوتوجرافية، أو على كاشف إلكتروني، فيكوّن المطياف صورة الشق عند مواقع مختلفة لكل طول موجي.

إن الطيف المنبعث عن جســـم ســـاخن، أو عن مادة صلبة متوهجة، مثـــل فتيلة المصباح الكهربائي؛ هو حزمة متصلة من ألوان الطيف من الأحمر إلى البنفسجي. لكن طيف الغاز يكون سلســـلة من الخطوط المنفصلة ذات ألوان مختلفة. وخطوط طيفي الانبعاث لغازي الزئبق والباريوم موضحان في **الشـــكل 5b–4** و**الشـــكل 5c–4** على التوالي. وكل خط ملوّن يرتبط مع الطول الموجي المحدد للضوء المنبعث من ذرات ذلك الغاز.

تجربة عملية

ماذا يمكن أن تتعلم من طيف الانبعاث؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

يعدّ طيف الانبعاث أيضًا وســـيلة تحليلية مفيدة، فيمكن استخدامه لتحديد نوع عينة غاز مجهولة؛ حيث يوضع الغاز المجهول في أنبوب تفريغ الغاز ليبعث ضوءًا. والضوء المنبعث يحتوي على أطوال موجية مميّزة لذرات ذلك الغاز. لذا يمكن تحديد الغاز المجهول بمقارنة أطواله الموجية بالأطوال الموجية الموجودة في أطياف العينات المعلومة.

ويمكن كذلك اســـتخدام طيف الانبعاث لتحليل خليط من الغازات. فعندما يتم تصوير طيف الانبعاث لخليط من العناصر فإن تحليل الخطوط في الصورة يمكن أن يشـــير إلى نوع العناصر الموجودة والتراكيز النسبية لها. وإذا كانت العينة قيد الاختبار تحتوي على كمية أكبر من عنصر معين فإن خطوط ذلك العنصر تكون أكثر كثافة في الصورة من العناصر الأخرى. ومن خـــلال إجراء المقارنة بين كثافـــات الخطوط يمكن تحديد التركيب النسبي للمادة.



■ **الشكل 6–4** تظهر خطوط فرنهوفر في طيف الامتصاص للشمس. توجد خطوط كثيرة، إلا أن بعض هذه الخطوط خافت وبعضها قاتم جدًّا؛ اعتمادًا على تراكيز العناصر في الشمس.

طيف الامتصاص في عام 1814م لاحظ جوزيف فون فرنهوفر وجود بعض الخطوط المعتمة تتخلل طيف ضوء الشمس. تُعرَف هذه الخطوط المعتمة الآن بخطوط فرنهوفر، وهي موضحة في **الشكل 6–4**. وقد علل ذلك بأن ضوء الشمس يعبر خلال الغلاف الغازي المحيط بالشمس، وتمتص هذه الغازات أطوالاً موجية مميِّزة محددة، وامتصاص هذه الأطوال الموجية يُنتج هذه الخطوط المعتمة في الطيف المرئي. ومجموعة الأطوال الموجية الممتصة بواسطة الغاز تسمى **طيف الامتصاص** للغاز. وقد أمكن تحديد مكونات الغلاف الشمسي بمقارنة الخطوط المفقودة في الطيف المرئي مع طيف الانبعاث المعلوم للعناصر المختلفة، وتم كذلك تحديد مكونات العديد من النجوم باستخدام هذه التقنية.

الربط مع الفلك

تستطيع مشاهدة طيف الامتصاص بتمرير ضوء أبيض خلال عينة غاز ومطياف، كما هو موضح في **الشكل 7a–4**. ولأن الغاز يمتص أطوالاً موجية محددة فإن الطيف المستمر المرئي للضوء الأبيض سيحتوي على خطوط معتمة محددة بعد مروره في غاز ما. وتحدث الخطوط المضيئة لطيف الانبعاث والخطوط المعتمة لطيف الامتصاص لأي غاز غالبًا عند الأطوال الموجية نفسها، كما هو موضح في **الشكل 7b–4** و**الشكل 7c–4**، على التوالي، لذلك فإن العناصر الغازية الباردة تمتص الأطوال الموجية نفسها التي تبعثها عندما تثار. وكما يمكن أن تتوقع، فإنه يمكن تحديد مكونات غاز ما من الأطوال الموجية للخطوط المعتمة في طيف الامتصاص لهذا الغاز.

■ **الشكل 7–4** يستخدم هذا الجهاز لإنتاج طيف الامتصاص لغاز الصوديوم (a). يتكون طيف الانبعاث للصوديوم من العديد من الخطوط المميزة (b)، بينما يكون طيف الامتصاص للصوديوم مستمرًا تقريبًا (c).

التحليل الطيفي يعدّ كل من طيفي الانبعاث والامتصاص وسيلة علمية مفيدة؛ فنتيجة للأطياف المميِّزة للعنصر استطاع العلماء تحليل وتحديد وحساب كمية المواد المجهولة عن طريق ملاحظة الأطياف التي تبعثها أو تمتصها. ولأطياف الانبعاث والامتصاص أهمية بالغة في الصناعة كما في البحوث العلمية. تقوم مصانع الحديد مثلًا بإعادة معالجة كميات كبيرة من حديد الخردة الذي يحتوي على تراكيب مختلفة، فيتم التحديد الدقيق لهذه التراكيب في دقائق بالتحليل الطيفي. كما يمكن تعديل تركيب الحديد ليتناسب مع المواصفات التجارية؛ وتقوم محطات معالجة الفلزات – ومنها الألومنيوم والزنك ومعادن أخرى – بتطبيق الطريقة نفسها.

إن دراسة الأطياف تعدّ فرعًا من العلم المعروف باسم التحليل الطيفي. ويعمل الباحثون في هذا العلم في مؤسسات الأبحاث والمؤسسات الصناعية. وقد تم إثبات أن علم التحليل الطيفي أداة فعّالة لتحليل الفلزات الموجودة على الأرض، وهو الأداة المتوافرة الوحيدة حاليًّا لدراسة مكونات النجوم على مدى الفضاء المتسع.

نموذج بور للذرة The Bohr Model of the Atom

في القرن التاسع عشر، حاول بعض العلماء استخدام الأطياف الذرية لتحديد مكونات الذرة. وتمت دراسة الهيدروجين بدقة؛ لأنه العنصر الأخف، وله أبسط طيف؛ حيث يتكون الطيف المرئي للهيدروجين من أربعة خطوط: الأحمر، والأخضر، والأزرق، والبنفسجي، كما هو موضح في **الشكل 8–4**. وأي نظرية علمية تفسر مكونات الذرة يجب أن تأخذ في الحسبان هذه الأطوال الموجية وتدعم النموذج النووي. ومع ذلك فإن النموذج النووي الذي اقترحه راذرفورد لم يخل من السلبيات؛ حيث افترض أن الإلكترونات تدور حول النواة تمامًا، كما تدور الكواكب حول الشمس. فكانت هناك ثغرة خطيرة في النموذج النووي (نموذج الكواكب).

سلبيات النموذج النووي (نموذج الكواكب) يتسارع الإلكترون في مستواه مع استمرار دورانه حول النواة. وكما درست سابقًا فإن الإلكترونات المتسارعة تشع طاقة عن طريق انبعاث موجات كهرومغناطيسية. وسرعة معدل فَقْد الإلكترون الدائر حول النواة لطاقته يجعل مساره لولبيًّا حتى يسقط في النواة خلال 10^{-9} s. لذلك فإن نموذج الكواكب لا يتفق مع قوانين الكهرومغناطيسية. إضافة إلى ذلك يتوقع نموذج الكواكب أن الإلكترونات المتسارعة سوف تشع طاقتها عند كل الأطوال الموجية، لكن كما درست، فإن الضوء المنبعث من الذرات يُشَع عند أطوال موجية محددة فقط.

انتقل الفيزيائي الدنماركي نيلز بور إلى بريطانيا عام 1911م، وانضم إلى مجموعة راذرفورد ليعمل في تحديد تركيب الذرة. وحاول توحيد النموذج النووي مع مستويات الطاقة المكماة لبلانك ونظرية أينشتاين في الضوء. فكانت هذه فكرة جريئة؛ لأنه منذ عام 1911م لم تكن أي من هذه الأفكار الجريئة مفهومة على نطاق واسع، أو مقبولة.



■ **الشكل 8–4** هناك أربعة خطوط في طيف الانبعاث لذرة الهيدروجين.

تكمية الطاقة Quantized Energy

بــدأ بور بالترتيب الكواكبــي للإلكترونات، كما هو موضح في **الشــكل 9–4**. لكنه قدّم نظرية جريئة تنص على أن قوانين الكهرومغناطيســية لا تطبق على داخل الذرة. فافترض أن الإلكترونات في المدار المســتقر لا تشع طاقة رغم أنها تتسارع، واعتبر أن هذا هو شرط اســتقرار الذرة. وذهب إلى افتراض أن حالة الاستقرار للذرات تكون فقط عندما تكون كميات الطاقة فيها محددة؛ أي أنه اعتبر أن مستويات الطاقة في الذرة مكماة.

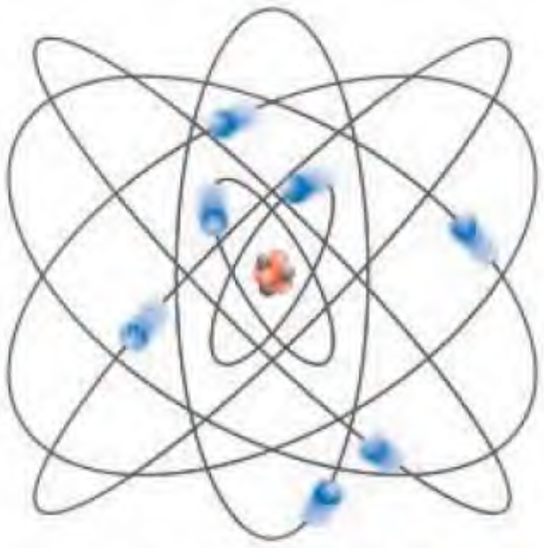
وكما هو موضح في **الشكل 10–4** فإن تكمية الطاقة في الذرات يمكن تشبيهها بدرجات سلّم؛ بحيث يتناقص البعد بين كل درجتين كلما صعدنــا إلى أعلى. وحتى تصعد إلى درجات أعلى للسلم يجب أن تنتقل من الدرجة الأدنى إلى الدرجة الأعلى، ومن المستحيل الوقوف عند نقطة تقع بين درجتين. والذرات لها كميات مكماة من الطاقة كل منها يسمى **مستوى طاقة**، فكما أنــه لا يمكنك أن تشــغل مكانًا بين درجتي ســلم فإن طاقة الذرة لا يمكن أن يكون لها قيمة بين طاقتي مستويين من مستويات الطاقة المسموح بها. وعندما تكون طاقة الذرة عند أقل مقدار مســموح به يقال إنها في **حالة استقرار**. وعندما تمتص الذرة كمية محددة من الطاقة فإنها تنتقل إلى مســتوى طاقة أعلى، أي مســتوى طاقة أعلى من مستوى الاستقرار. وهذه الحالة تسمى **حالة الإثارة**.

طاقة الذرة ما الذي يحدد طاقة الذرة؟ طاقة الذرة تساوي مجموع طاقة حركة الإلكترونات وطاقــة الوضع الناتجة عن قوة التجاذب بين الإلكترونــات والنواة. وطاقة الإلكترون في المستويات القريبة من النواة أقل من طاقة الإلكترون في المستويات البعيدة عنها؛ لأنه يجب أن يبذل شــغل لنقل الإلكترونات بعيدًا عن النواة. وهكــذا تكون الذرات في حالة إثارة عندما تكون إلكتروناتها عند مستويات طاقة أعلى؛ أي في مستويات أبعد عن النواة. ولأن الطاقة مكماة وترتبط برقم المســتوى فإن طاقة المســتوى مكماة أيضًا. يعرف نموذج الذرة الذي تم وصفه آنفًا، والذي يبين وجود نواة مركزية وإلكترونات لها مستويات طاقة مكماة تدور حولها بنموذج بور للذرة.

إذا كان بور مصيبًا في افتراضه أن الذرات المســتقرة لا تبعث طاقة، فمن المسؤول إذن عن طيف الانبعاث المميِّز للذرة؟ للإجابة عن هذا السؤال، اقترح بور أن طاقة كهرومغناطيسية تنبعث عندما تتغير حالة الذرة من حالة اســتقرار إلى حالة اســتقرار أخرى. ومن نظرية التأثير الكهروضوئي لأينشتاين أدرك بور أن طاقة كل فوتون تعطى بالمعادلة $E_{\text{فوتون}} = hf$، ثم افتَرَض أنه عندما تمتص الذرة فوتونًا فإنها تصبح مثارة، وتزداد طاقتها بمقدار يساوي طاقة ذلك الفوتون، ثم تنتقل هذه الذرة المثارة إلى مستوى طاقة أقل عندما تشع فوتونًا.



■ **الشكل 10–4** هذه الدرجات التي يتناقص البعد بينها تماثل مستويات الطاقة المتاحة في الذرة. لاحظ كيف أن فرق الطاقة بين مستويات الطاقة المتجاورة يتناقص كلما زاد بعد مستوى الطاقة.



■ **الشكل 9–4** نموذج الكواكب لبور في الذرة اعتمد على فرضية أن الإلكترونات تدور في مدارات ثابتة حول النواة.



مُنح البروفيسور بول كوركم جائزة الملك فيصل / فرع العلوم لعام 1434هـ /2013 م وذلك لامتياز بحوثة المستقلة والرائدة، والتي جعلت من الممكن الحصول على تصوير حركة الإلكترونات في داخل الذرات والجزيئات في فترات زمنية متناهية في الصغر في حدود الأتوثانية.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

عندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة ابتدائي E_i، إلى مستوى طاقة نهائي E_f فإن التغير في طاقة الذرة ΔE يعطى بالمعادلة:

$$\Delta E_{\text{ذرة}} = E_f - E_i$$

وكما هو موضح في **الشكل 11–4**، فالتغير في طاقة الذرة يساوي طاقة الفوتون المنبعث.

$$E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$$

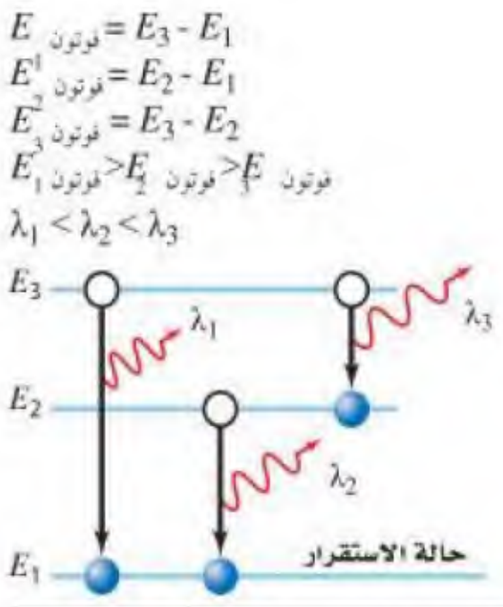
أو

$$E_{\text{فوتون}} = E_f - E_i$$

تلخّص المعادلة أدناه العلاقة بين التغير في حالات الطاقة للذرة وطاقة الفوتون المنبعث.

طاقة الفوتون المنبعث $E_{\text{فوتون}} = \Delta E_{\text{ذرة}}$ أو $E_{\text{فوتون}} = hf$

طاقة الفوتون المنبعث تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك في تردد الفوتون المنبعث.
طاقة الفوتون المنبعث تساوي النقص في طاقة الذرة.



الشكل 11–4 طاقة الفوتون المنبعث تساوي الفرق في الطاقة بين مستويات الطاقة الابتدائية والنهائية للذرة.

تنبؤات نموذج بور Predictions of the Bohr Model

يجب أن تقدم النظرية العلمية أكثر من المسلمات الموجودة سابقًا، وأن تسمح بإجراء توقعات قابلة للاختبار، ومقارنتها مع النتائج التجريبية. والنظرية الجيدة كذلك يمكن تطبيقها على عدة مشكلات مختلفة، وفي النهاية يمكنها تقديم تفسير موحّد لجزءٍ من العالم المادي.

استخدم بور نظريته لحساب الأطوال الموجية للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين، فكانت الحسابات متوافقة جدًّا مع قيم مقيسة حددها علماء آخرون. ونتيجة ذلك تم قبول نموذج بور على نطاقٍ واسع. لكن — لسوء الحظ – فقد طُبّق هذا النموذج على ذرة الهيدروجين فقط، ولم يكن باستطاعته توقع طيف الهيليوم الذي يمثل العنصر البسيط التالي بعد الهيدروجين. إضافة إلى ذلك لم يقدم النموذج تفسيرًا جيدًا لبعض المسائل، مثل لماذا يمكن تطبيق قوانين الكهرومغناطيسية في كل مكان إلا داخل الذرة. لذلك لم يكن بور نفسه يعتقد أن نموذجه يمثل نظرية متكاملة عن تركيب الذرة. وعلى الرغم من عيوب نموذج بور فإنه يصف مستويات الطاقة والأطوال الموجية للضوء المنبعث والممتص من ذرات الهيدروجين بصورة جيدة.

تطوّر نموذج بور طوّر بور نموذجه بتطبيق قانون نيوتن الثاني في الحركة $F_{\text{محصلة}} = ma$ على الإلكترون، والقوة المحصلة المحسوبة بواسطة قانون كولوم للتفاعل بين الإلكترون ذي الشحنة$-q$ والبروتون ذي الشحنة $+q$ أحدهما على بعد r من الآخر؛ حيث تحسب القوة بالمعادلة: $F = -k\,q^2/r^2$. إن تسارع الإلكترون في مدار دائري حول البروتون الذي كتلته أكبر كثيرًا من كتلة الإلكترون يعطى بالمعادلة: $a = -v^2/r$؛ حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن الاتجاه نحو الداخل. وهكذا حصل بور على العلاقة:

$$\frac{kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

في المعادلة أعلاه، k تمثل ثابت كولوم، وقيمته $9.0 \times 10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2$.

أخذ بور بعد ذلك في الحسبان الزخم الزاوي للإلكترون الذي يدور حول النواة، والذي يساوي حاصل ضرب زخم الإلكترون في نصف قطر مساره الدائري، فتوصل إلى أن الزخم الزاوي للإلكترون يعطى بالعلاقة: mvr. ثم افترض أن الزخم الزاوي للإلكترون له قيم محددة، وأن تلك القيم المسموح بها تكون مضروبة في المقدار $h/2\pi$؛ حيث h ثابت بلانك. وباستخدام n لتمثل عددًا صحيحًا، اقترح بور أن $mvr = nh/2\pi$. وباستخدام العلاقة $\frac{kq^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ وبإعادة ترتيب معادلة الزخم الزاوي وجد بور أن أنصاف أقطار مستويات الإلكترونات في ذرة الهيدروجين تعطى بالمعادلة التالية:

نصف قطر مستوى إلكترون ذرة الهيدروجين $r_n = \frac{h^2n^2}{4\pi^2kmq^2}$

إن نصف قطر مستوى n للإلكترون يساوي حاصل ضرب مربع ثابت بلانك في مربع العدد الصحيح n مقسومًا على الكمية المتكوّنة من حاصل ضرب 4 في مربع π، مضروبة في الثابت k، مضروبة في كتلة الإلكترون ومربع شحنته.

تستطيع حساب نصف قطر المستوى الأقرب إلى النواة في ذرة الهيدروجين - الذي يعرف أيضًا بنصف قطر بور - وذلك بتعويض القيم المعلومة، وقيمة $n = 1$ في المعادلة أعلاه.

$$r_1 = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J.s})^2(1)^2}{4\pi^2(9.0\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(1.60\times10^{-19}\text{C})^2}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{J}^2.\ \text{s}^2/\text{N.}\ \text{m}^2.\ \text{kg}$$

$$= 5.3\times10^{-11}\ \text{m} \quad = 0.053\ \text{nm}$$

$$r_n = n^2 0.053\text{nm}$$

بتطبيق قوانين الجبر البسيطة تستطيع التوصل إلى أن الطاقة الكلية للذرة يعبر عنها بحاصل جمع طاقة حركة الإلكترون وطاقة وضعه، وإذا عوضنا $r_n = \frac{h^2n^2}{4\pi^2kmq^2}$ في المعادلة $E_n = -\frac{kq^2}{2r}$ ينتج أن:

$$E_n = \frac{-2\pi^2k^2mq^4}{h^2} \times \frac{1}{n^2}$$

وبتعويض القيم العددية للثوابت تستطيع حساب مقدار الطاقة الكلية للذرة بوحدة الجول، فتنتج المعادلة:

$$E_n = -2.17\times10^{-18}\ \text{J} \times \frac{1}{n^2}$$

وبتحويل العلاقة لوحدات الإلكترون فولت تنتج المعادلة:

طاقة ذرة الهيدروجين $E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{n^2}$

الطاقة الكلية لذرة عدد الكم الرئيس لها n، تساوي حاصل ضرب 13.6 eV- في مقلوب n^2.

إن كلًّا من نصف قطر المستوى للإلكترون وطاقة الذرة مكماة. ويسمى العدد الصحيح n الذي يظهر في المعادلات **عدد الكم الرئيس**، ويمكن من خلاله حساب القيم المكماة لكل من r و E. وبصورة مختصرة، فإن نصف القطر r يزداد بزيادة مربع n، بينما تعتمد الطاقة E على $1/n^2$.

تجربة

طيف الضوء اللامع (الساطع)



شغل مصدر القدرة المتصل مع أنبوب تفريغ الغاز بحيث يضيء الأنبوب.

تحذير: احمل أنبوب الغاز بحذر شديد لتتجنب تحطمه، ولا تلمس أي فلز معرض للإضاءة في أثناء تشغيل مصدر القدرة؛ لأن فرق الجهد المستخدم خطر. وقم دائمًا بفصل مصدر القدرة قبل تغيير أنابيب الغاز.

أطفئ أنوار الغرفة

1. **صف** اللون الذي تلاحظه.
2. **لاحظ** أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
3. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
4. **توقع** ما إذا كان الطيف الملاحظ سيتغير عندما تتم مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
5. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

6. **اختبر** نتائج مشاهدة أنبوب غاز التفريغ من خلال محزوز الحيود.
7. **فسر** سبب وجود اختلاف بين الطيفين.

الطاقة وانتقال الإلكترون ربما تتساءل لماذا تكون طاقة الذرة في نموذج بور ذات قيمة سالبة. تذكر مما درست أن فروق الطاقة فقط ذات معنى. وطاقة مستوى اللانهاية يمكن اعتبارها صفرًا، وتسمى الطاقة الصفرية، وتعرّف بأنها طاقة الذرة عندما يكون الإلكترون بعيدًا جدًّا عن الذرة وليس له طاقة حركة. وتحدث هذه الحالة عندما تصبح الذرة متأينة، أي عندما يُنزع إلكترون من الذرة. ولأنه يجب بذل شغل لتأيين الذرة فإن طاقة الذرة مع الإلكترون الدائر فيها يجب أن يكون أقل من صفر، لذلك فإن طاقة الذرة ذات قيمة سالبة. وعندما يحدث انتقال في الذرة من مستوى طاقة أقل إلى مستوى طاقة أعلى فإن الطاقة الكلية تصبح أقل سالبية، ولكن مجموع التغير الكلي في الطاقة يبقى موجبًا.

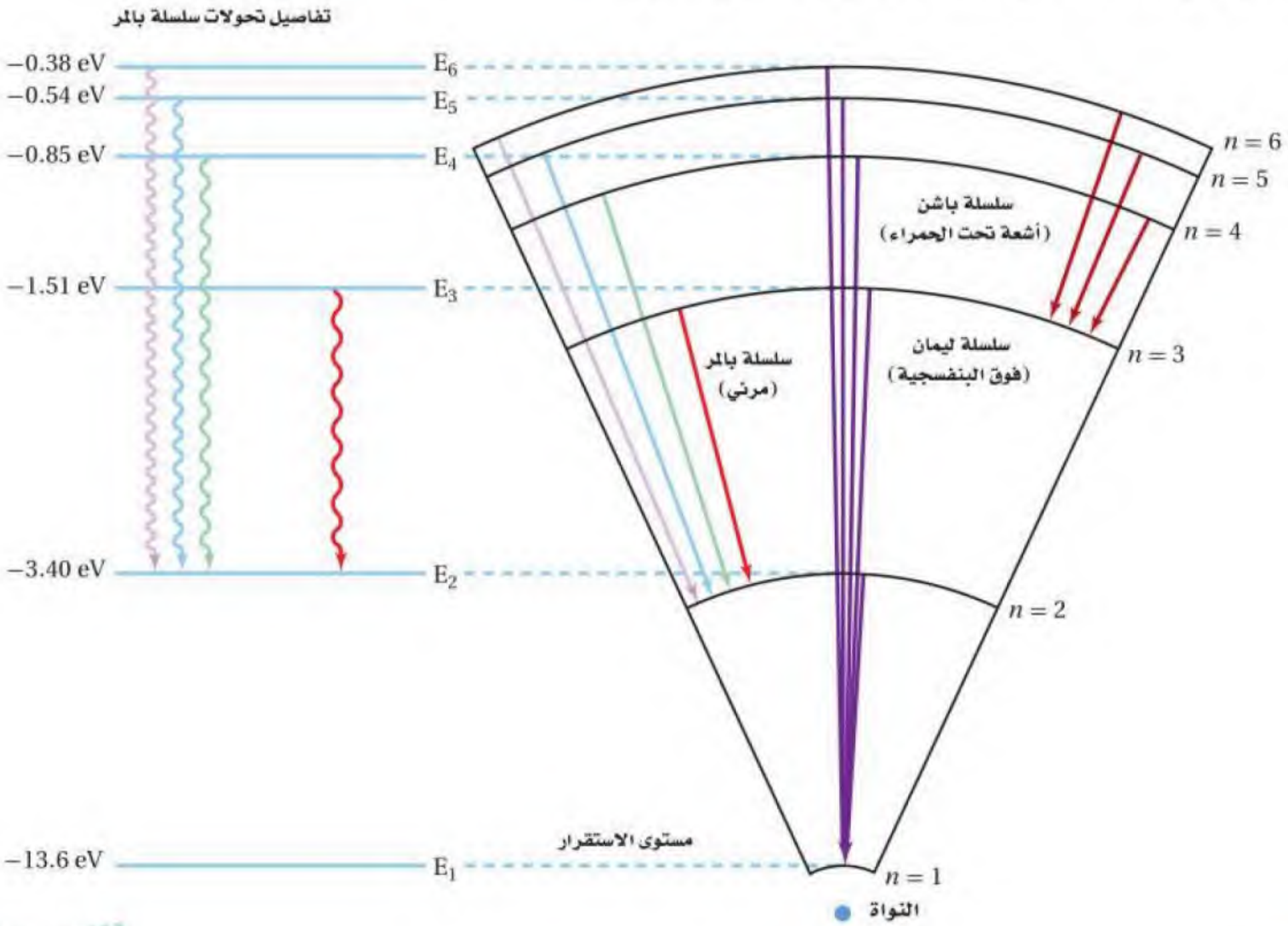
بعض مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين ومستويات الطاقة التي قد يتم الانتقال إليها موضّحة في **الشكل 12–4**. لاحظ أن ذرة الهيدروجين المثارة يمكنها أن تبعث مدى واسعًا من الطاقة الكهرومغناطيسية كالأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، أو الأشعة فوق البنفسجية بحسب حالات الانتقال التي تحدث؛ حيث تنبعث الأشعة فوق البنفسجية عندما ينتقل إلكترون من مستوى حالة الإثارة إلى مستوى الطاقة الأول. وتنتج الخطوط الأربعة المرئية في طيف الهيدروجين عندما يحدث الانتقال في الذرة من مستوى الطاقة $n = 3$ أو مستوى أعلى إلى مستوى الطاقة $n = 2$.

تجربة عملية

كيف يمكنك قياس عدد تنقلات الإلكترون بين مستويات الطاقة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل 12–4 تعرف مجموعة الخطوط الملونة التي تكوّن طيف ذرة الهيدروجين المرئي بسلسلة بالمر. إن هذا الضوء المرئي ناتج عن الفوتونات المنبعثة عندما تعود الإلكترونات إلى مستوى الطاقة الثاني $n = 2$. ونتيجة لانتقال إلكترونات أخرى لذرة الهيدروجين تنبعث كل من الأشعة فوق البنفسجية (سلسلة ليمان) والأشعة تحت الحمراء (سلسلة باشن)؛ وهي أشعة كهرومغناطيسية.

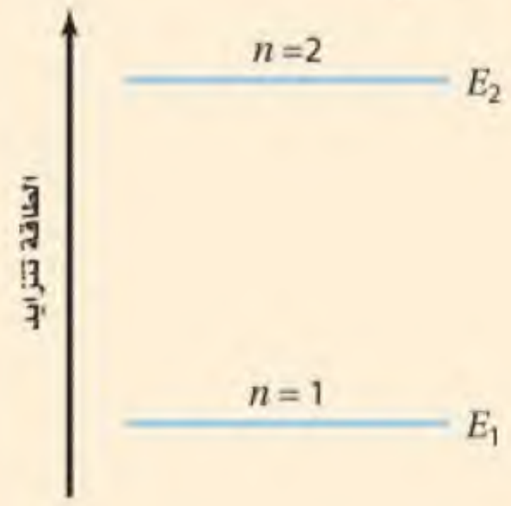


مثـــــال 1

مستويات الطاقة تمتص ذرة الهيدروجين طاقة تسبب انتقال إلكترونها من مستوى الطاقة الأدنى $n = 1$ إلى مستوى الطاقة الثاني $n=2$. احسب طاقة كل من مستوى الطاقة الأول ومستوى الطاقة الثاني، ثم احسب الطاقة الممتصة بواسطة الذرة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل بالرسم مستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضح اتجاه تزايد الطاقة في الرسم التوضيحي.



المعلوم	المجهول
عدد الكم لمستوى الطاقة الأول، $n = 1$	طاقة المستوى E_1= ؟
عدد الكم لمستوى الطاقة الثاني، $n = 2$	طاقة المستوى E_2= ؟
	فرق الطاقة ΔE= ؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة طاقة الإلكترون في مستواه، لحساب طاقة كل مستوى.

$$E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{n^2}$$

بالتعويض $n = 1$

$$E_1 = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{(1)^2}$$

$$E_1 = -13.6\ \text{eV}$$

بالتعويض $n = 2$

$$E_n = -13.6\ \text{eV} \times \frac{1}{(2)^2}$$

$$E_2 = -3.40\ \text{eV}$$

دليل الرياضيات

الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

إن الطاقة الممتصة بواسطة الذرة ΔE تساوي فرق الطاقة بين مستوى الطاقة النهائي للذرة E_f ومستوى الطاقة الأوليّ للذرة E_i.

بالتعويض $E_i = E_1$ ، $E_f = E_2$

بالتعويض $E_1 = -13.6\ \text{eV}$ ، $E_2 = -3.40\ \text{eV}$

$$\Delta E = E_f - E_i$$

$$= E_2 - E_1$$

$$= -3.40\ \text{eV} - (-13.6\ \text{eV})$$

$$= 10.2\ \text{eV}$$ طاقة الفوتون المنبعثة

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن قيم طاقة المستويات يجب أن تقاس بوحدة الإلكترون فولت.
- **هل الإشارة صحيحة؟** إن فرق الطاقة موجب عندما تتحرك الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات طاقة أعلى.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الطاقة اللازمة لتحريك إلكترون من مستوى الطاقة الأول إلى مستوى الطاقة الثاني يجب أن يساوي 10 eV تقريبًا، وهذا يساوي الطاقة المطلوبة.

مسائل تدريبية

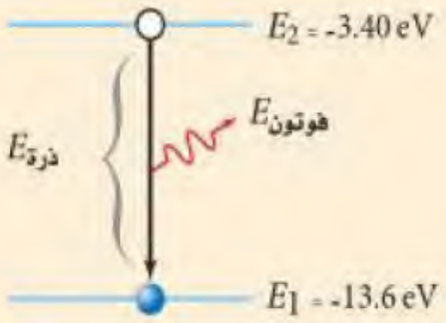
1. احسب طاقة المستويات: الثاني والثالث والرابع، لذرة الهيدروجين.
2. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_3 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
3. احسب فرق الطاقة بين مستوى الطاقة E_4 ومستوى الطاقة E_2 في ذرة الهيدروجين.
4. النص الآتي يمثل حل المعادلة $r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 kmq^2}$ عندما $n = 1$، فإن نصف القطر يكون هو الأصغر لمستويات ذرة الهيدروجين. لاحظ أنه – ماعدا n^2 – فإن كل المعطيات الأخرى في المعادلة ثابتة. وقيمة r_1 تساوي 5.3×10^{-11} m، أو 0.053 nm. استخدم هذه المعلومات في حساب أنصاف أقطار مستويات الطاقة الثاني والثالث والرابع في ذرة الهيدروجين.
5. قطر نواة ذرة الهيدروجين 2.5×10^{-15} m، والمسافة بين النواة والإلكترون الأول 5×10^{-11} m تقريبًا. إذا استخدمت كرة قطرها 7.5 cm لتمثل النواة، فكم يكون بُعد الإلكترون؟

مثـــال 2

تردد وطول موجة الفوتونات المنبعثة ينتقل إلكترون ذرة هيدروجين مثارة من مستوى الطاقة الثاني $n = 2$ إلى مستوى الطاقة الأول $n = 1$. احسب الطاقة والطول الموجي للفوتون المنبعث. استخدم قيم E_1 و E_2 من المسألة 1.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا توضيحيًّا لمستويات الطاقة E_1 و E_2.
- وضّح اتجاه تزايد الطاقة، ووضح انبعاث الفوتون في الرسم.



دليل الرياضيات
فصل المتغير.

المعلوم	المجهول
مستوى الطاقة $E_1 = -13.6$ eV	التردد، f = ؟
مستوى الطاقة $E_2 = -3.40$ eV	الطول الموجي، λ = ؟
	فرق الطاقة ΔE = ؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

طاقة الفوتون المنبعث تساوي ΔE، فرق الطاقة بين مستوى الطاقة الثاني للذرة E_f ومستوى الطاقة الأول لها E_i.

$$\Delta E = E_f - E_i$$
$$= E_1 - E_2$$
$$= -13.6 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV})$$
$$= -10.2 \text{ eV}$$

بالتعويض $E_f = E_1$ ، $E_i = E_2$

بالتعويض $E_1 = -13.6$ eV ، $E_2 = -3.40$ eV

لحساب الطول الموجي للفوتون، استخدم المعادلات الآتية:

- حل معادلة الفوتون بالنسبة إلى التردد
- حل معادلة الطول الموجي التردد بالنسبة إلى الطول الموجي

$$\Delta E = hf \text{ لذا فإن، } f = \frac{\Delta E}{h}$$
$$c = \lambda f \text{ لذا فإن، } \lambda = \frac{c}{f}$$
$$\lambda = \frac{c}{(\Delta E/h)} = \frac{hc}{\Delta E}$$
$$= \frac{1240 \text{ eV. nm}}{10.2 \text{ eV}} = 122 \text{ nm}$$

بالتعويض $f = \frac{\Delta E}{h}$

بالتعويض $hc = 1240$ eV.nm ، $\Delta E = 10.2$ eV

3 تقويم الجواب

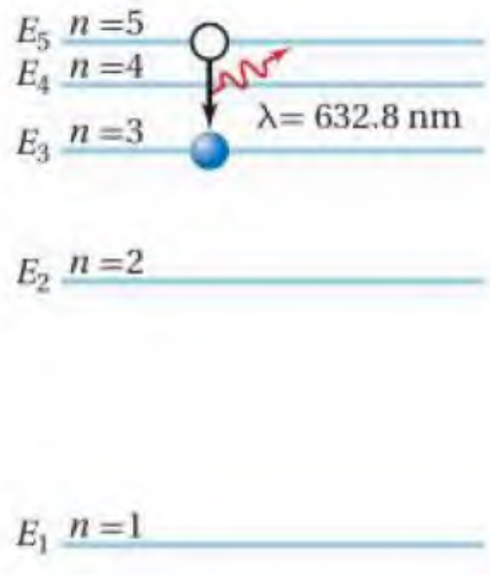
- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الطاقة بوحدة الإلكترون فولت. البادئة نانو تعدّل إلى وحدة متر، وهي وحدة القياس الأساسية في النظام SI. والتي تمثل الوحدة الصحيحة للطول الموجي.
- **هل الإشارة صحيحة؟** تنتج الطاقة عندما تبعث الذرة فوتونًا خلال عملية الانتقال من مستوى الطاقة الثاني إلى مستوى الطاقة الأول، ولذلك فإن فرق الطاقة سالب.
- **هل الجواب منطقي؟** الطاقة الناتجة عن عملية الانتقال تنتج ضوءًا في مدى الأشعة فوق البنفسجية، وهو أقل من 400 nm.

مسائل تدريبية

6. أوجد الطول الموجي للضوء المنبعث في المسائل 2 و 3. أي الخطوط في الشكل 8–4 ترتبط مع كل عملية انتقال؟
7. في عملية انتقال محدد، تسقط طاقة ذرة الزئبق من مستوى طاقة 8.82 eV إلى مستوى طاقة 6.67 eV.
   a. ما مقدار طاقة الفوتون المنبعث من ذرة الزئبق؟
   b. ما مقدار الطول الموجي للفوتون المنبعث من ذرة الزئبق؟
8. انبعث فوتون طوله الموجي 304 nm من أيون الهيليوم، فإذا كانت طاقة أيون الهيليوم في حالة الاستقرار 54.4 eV–، فما مقدار طاقة الإثارة؟

مسألة تحفيز

على الرغم من أن نموذج بور للذرة يفسر بدقة سلوك ذرة الهيدروجين، إلا أنه لم يكن قادرًا على تفسير سلوك أي ذرة أخرى. تحقق من جوانب القصور في نموذج بور؛ وذلك بتحليل انتقال إلكترون في ذرة النيون. فخلافًا لذرة الهيدروجين فإن لذرة النيون عشرة إلكترونات، وأحد هذه الإلكترونات ينتقل بين مستوى الطاقة $n = 5$ ومستوى الطاقة $n = 3$، باعثًا فوتونًا في هذه العملية.



1. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما طاقة الفوتون التي يتوقعها نموذج بور؟
2. اعتبر أنه يمكن معاملة إلكترون ذرة النيون كإلكترون في ذرة الهيدروجين، فما الطول الموجي الذي يتنبأ به نموذج بور؟
3. الطول الموجي الحقيقي للفوتون المنبعث خلال عملية الانتقال 632.8 nm، ما نسبة الخطأ المئوي لتنبؤ نموذج بور للطول الموجي للفوتون؟



فاز نيلز بور بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921م، لمساهمته في صياغة تركيب الذرة.

يعدّ نموذج بور الأســاس الذي مكَّن العلماء من فهم تركيب الذرة. بالإضافة إلى حساب طيــف الانبعاث، كان بور وطلبته قادرين على حســاب طاقة التأيــن لذرة الهيدروجين. وطاقــة تأين الذرة هي الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون بصــورة كاملة من الذرة تتفق مع قيمة التأين التي تم حســابها بصــورة كبيرة مع النتائج العملية. وقــدم نموذج بور أيضًا توضيحًا لبعض الخصائص الكيميائية للعناصر. إن الفكرة التي تبيّن أن للذرات ترتيبات إلكترونية خاصة بكل عنصر تعدّ الأساس لمعظم معرفتنا بالتفاعلات والروابط الكيميائية. وقد تم تخليد إنجازات العالم نيلز بور في إصدار بعض الطوابع البريدية.

1–4 مراجعة

9. **نمــوذج راذرفورد النووي:** لخــص تركيب الذرة بناء على نموذج راذرفورد النووي.
10. **الأطيــاف:** فيم تختلــف أطياف الانبعــاث الذرية للمواد الصلبة المتوهجة والغازات، وفيم تتشابه؟
11. **نموذج بور:** فسّر كيف تحفظ الطاقة عندما تمتص ذرة فوتون الضوء؟
12. **نصــف قطر المســتوى:** يســلك أيون الهيليوم سلوك ذرة الهيدروجين، ونصف قطر مستوى طاقة الأيون الأدنى يســاوى 0.0265 nm. اعتمادًا على نموذج بور، ما مقدار نصف قطر مستوى الطاقة الثاني؟
13. **طيــف الامتصاص:** وضــح كيفية حســاب طيف الامتصاص لغاز ما. وضح أسباب ظهور الطيف.
14. **نموذج بور:** تم الكشــف عن تحوّل ذرة الهيدروجين من مســتوى الطاقة 101 إلى مســتوى الطاقة 100. ما مقــدار الطول الموجي للإشــعاع؟ أين يقع هذا الانبعاث في الطيف الكهرومغناطيسي؟
15. **التفكيــر الناقــد** نصف قطر نــواة ذرة الهيدروجين 1.5×10^{-15} m تقريبًــا. إذا كنــت راغبًــا في بناء نموذج لذرة الهيدروجين باســتخدام كرة بلاستيك $r = 5$ cm لتمثــل النــواة فأين تضــع إلكترونًا في مستوى $n = 1$؟ هل يكون موقعه في غرفة صفك؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 النموذج الكمي للذرة The Quantum Model of the Atom

لا يمكن تفسير الفرضيات التي قدمها بور على أساس المبادئ الفيزيائية المقبولة في تلك الفترة. فالنظرية الكهرومغناطيسية مثلاً تتطلب أن تبعث الجسيمات المتسارعة طاقة، مما يؤدي إلى إنهيار سريع للذرة. بالإضافة إلى ذلك فإن الفكرة التي تقول إن الإلكترون الدائر له مستوى محدد بنصف قطر معين تتعارض مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج. فكيف يمكن وضع نموذج بور على أساس متين؟

من مستويات الطاقة إلى السحابة الإلكترونية
From Orbits to an Electron Cloud

إن التلميح الأول لحل هذه المسائل قدّمه لويس دي برولي. تذكّر من الفصل السابق أن دي برولي اقترح أن للجسيمات خصائص موجية، تمامًا كما للضوء خصائص جسيمية.

تم حساب طول موجة دي برولي لجسيم زخمه mv بالمعادلة: $\lambda = h/mv$. وبترتيب المعادلة وضرب الطرفين في r نحصل على: $mvr = hr/\lambda$ وهكذا فإن نموذج بور يشترط أن يكون الزخم الزاوي مكمَّى. $mvr = nh/2\pi$ ويمكن كتابتها بالصيغة التالية:

$$n\lambda = 2\pi r \text{ أو } \frac{hr}{\lambda} = \frac{nh}{2\pi}$$

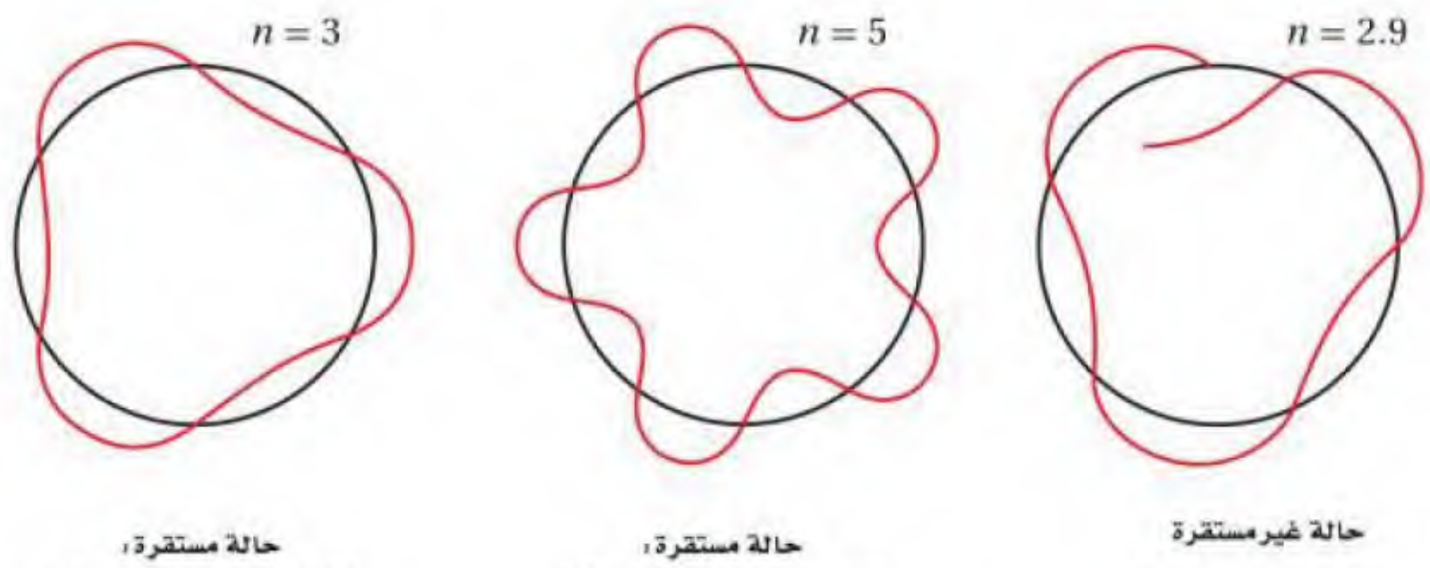
لذلك فإن محيط مستوى بور $2\pi r$ يساوي العدد الصحيح n مضروبًا في طول موجة دي برولي λ. والشكل **13–4** يوضح هذه العلاقة. استخدم العالم النمساوي إيرن شرودنجر عام 1926م نموذج موجة دي برولي للوصول إلى نظرية الكم للذرة اعتمادًا على الموجات. هذه النظرية لم تقترح النموذج النووي (الكواكبي) البسيط للذرة، كما في نموذج بور، وخاصة أن نصف قطر مسار الإلكترون لم يكن يشبه نصف قطر مدار الكوكب حول الشمس. وينص مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج على أنه من المستحيل معرفة كل من موقع وزخم إلكترون في اللحظة نفسها، لذا فإن **النموذج الكمي** يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة فقط. ومن المثير للاهتمام أن النموذج الكمي للذرة تنبأ بأن المسافة الأكثر احتمالية بين الإلكترون والنواة لذرة الهيدروجين هي نصف القطر نفسه الذي تم توقعه من خلال نموذج بور.

الأهداف

- **تصف** أوجه القصور في نموذج بور الذري.
- **تصف** النموذج الكمي للذرة.
- **توضح** كيف يعمل الليزر.
- **تصف** خصائص ضوء الليزر.

المفردات

النموذج الكمي
سحابة إلكترونية
ميكانيكا الكم
الضوء المترابط
الضوء غير المترابط
الانبعاث المحفز
الليزر



الشكل 13–4 الإلكترون الذي له مستوى مستقر حول النواة يجب أن يساوي محيط المستوى له حاصل ضرب العدد الصحيح n في طول موجة دي برولي. لاحظ أن العدد الصحيح $n = 3$ و $n = 5$ مستقران، بينما $n = 2.9$ غير مستقر.

إن احتمالية وجود الإلكترون عند نصف قطر محدد يمكن حسابه، وكذلك يمكن تكوين تمثيل ثلاثي الأبعاد لتوضيح مناطق الاحتمالات المتساوية.

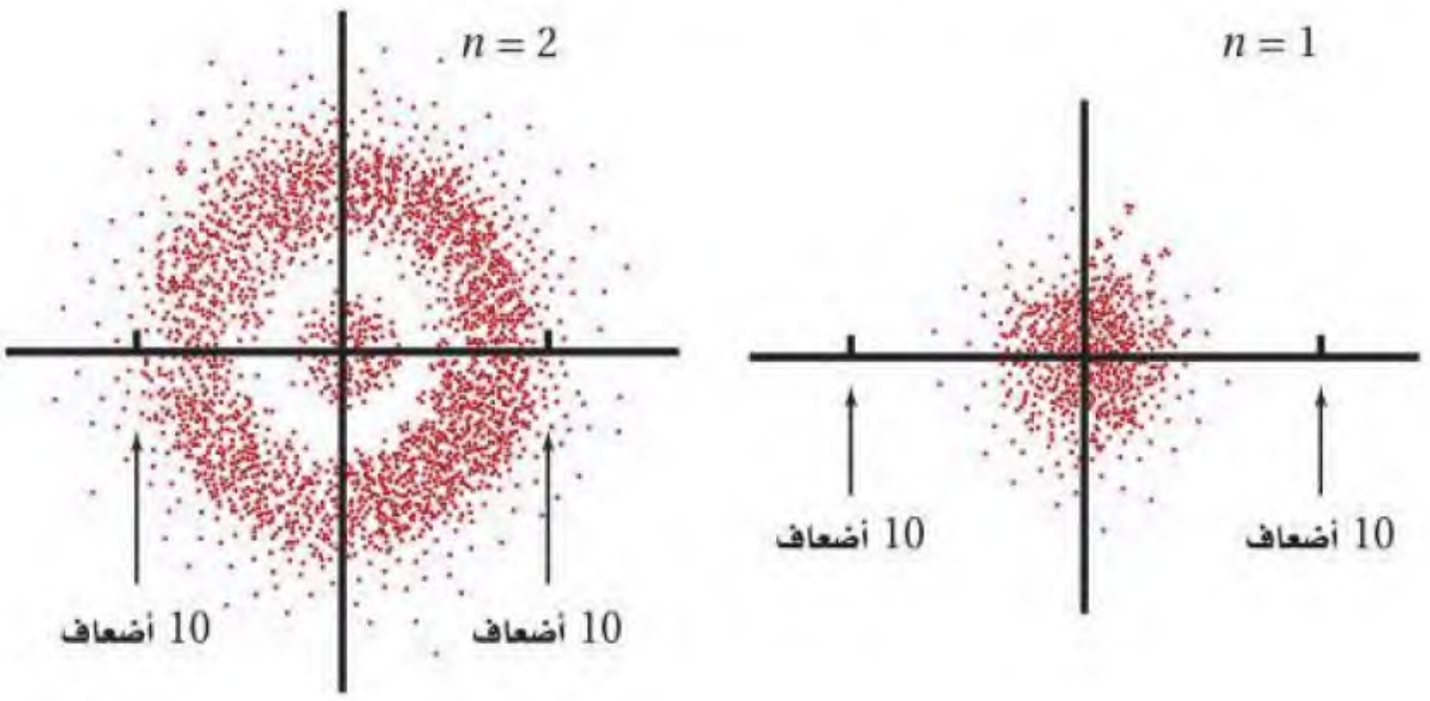
والمنطقة ذات الاحتمالية العالية لوجود الإلكترون فيها تسمى **سحابة إلكترونية**. والشكل **14–4** يوضح مقطعًا لسحابة إلكترونية تمثل حالتي الطاقة الأقل في ذرة الهيدروجين.

وعلى الرغم من صعوبة تصور النموذج الكمي للذرة فإن **ميكانيكا الكم** – وهي دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية– قد حققت نجاحًا هائلاً في توقع الكثير من المعلومات التفصيلية لتركيب الذرة. فقد كان من الصعب جدًّا حساب تلك التفاصيل بدقة إلا للذرات البسيطة؛ وكانت الحسابات التقريبية العالية الدقة للذرات الثقيلة تتم من خلال الحواسيب المتطورة فقط. لكن ميكانيكا الكم تمكنت من جعل تراكيب بعض الجزيئات قابلة للحساب، مما أتاح للكيميائيين القدرة على تحديد ترتيب الذرات في الجزيئات.

الربط مع الكيمياء

واسترشادًا بميكانيكا الكم استطاع الكيميائيون تحضير جزيئات جديدة ومفيدة لم تكن موجودة أصلاً في الطبيعة. وتستخدم ميكانيكا الكم أيضًا لتحليل تفاصيل امتصاص وانبعاث الضوء من الذرات. ونتيجة لنظرية ميكانيكا الكم تم تطوير مصدر جديد للضوء.

■ الشكل 14-4 هذه الرسومات تظهر احتمالية وجود الإلكترون في ذرة الهيدروجين عند مسافة تساوي عشرة أضعاف نصف قطر بور من النواة لكل من مستويي الطاقة الأول والثاني. وترتبط كثافة توزيع النقاط مع احتمالية وجود الإلكترون. لاحظ أن نصف قطر بور= 0.053 nm .

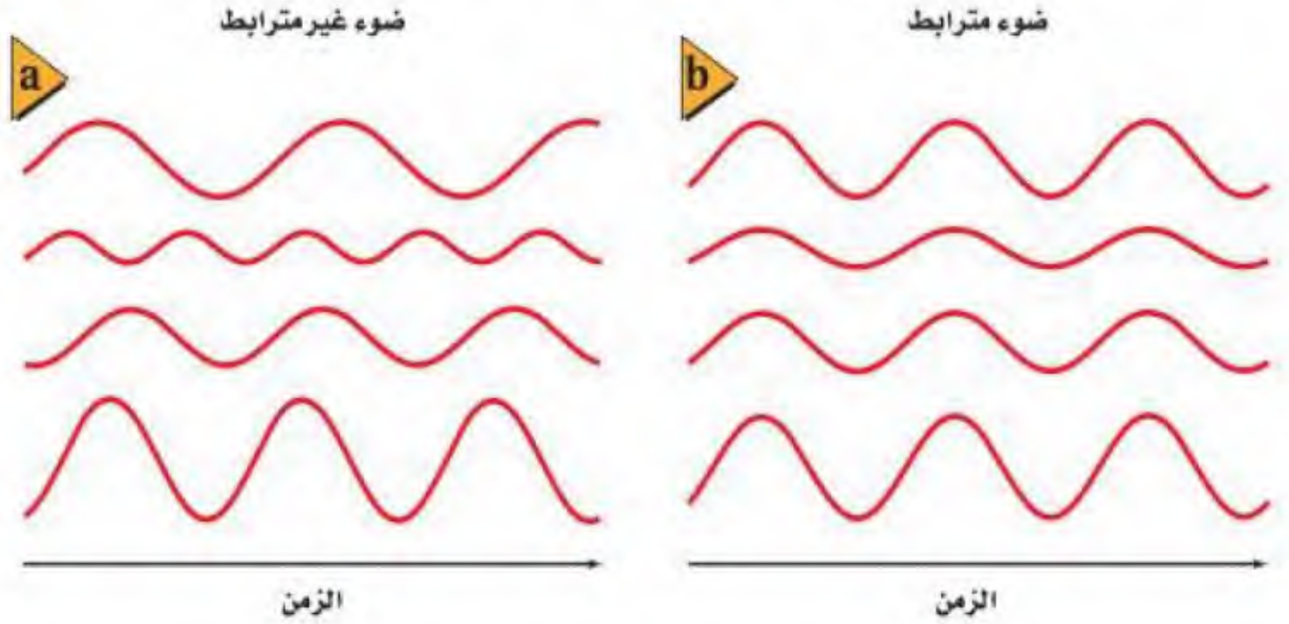


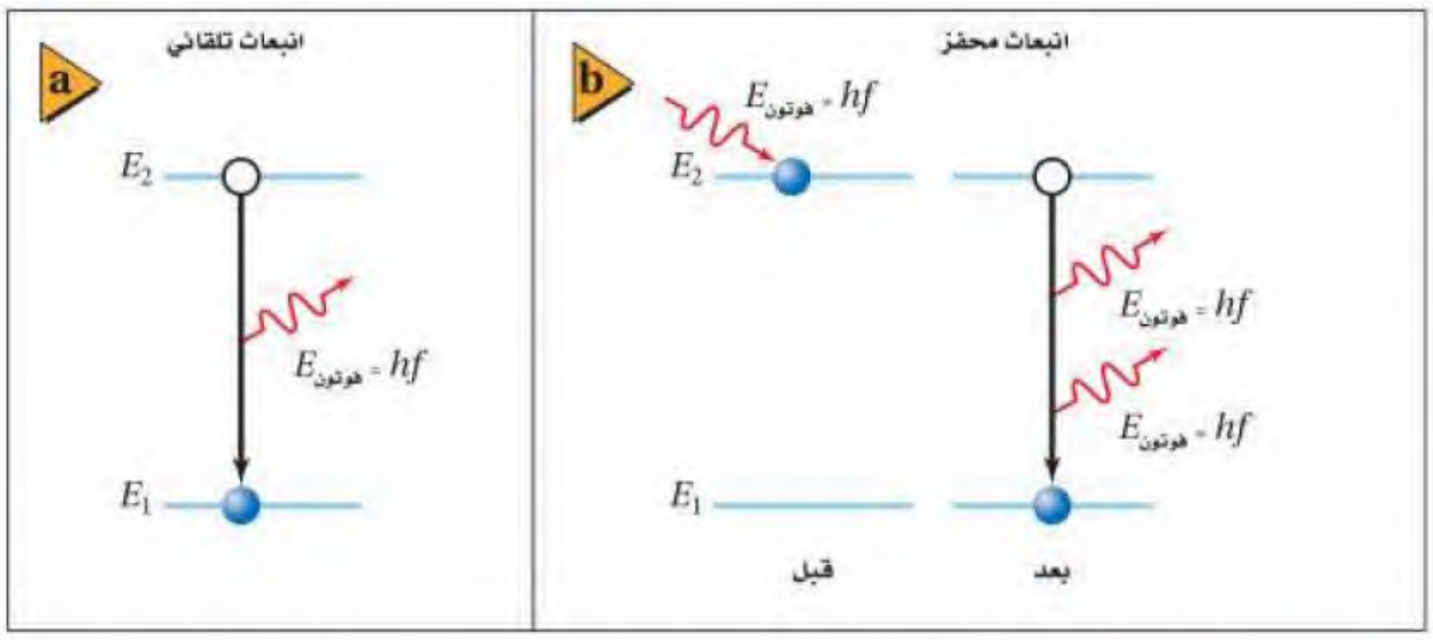
الليزر LASER

كما تعلم فـإن الضوء المنبعث عن مصدر متوهج يتكون من سلسـلة متتالية من الأطوال الموجيـة، في حين أن الضـوء الناتج عن الغاز الذري يتكون مـن بعض الأطوال الموجية المميـزة للغاز. إن الضوء المنبعث من كلا المصدرين ينتقل في جميع الاتجاهات. وبالإضافة إلى ذلـك ليس من الضرورة أن تنتقل الموجات الضوئيـة المنبعثة من الذرات عند إحدى نهايتي أنبوب غاز التفريغ بالطور نفسه أو أن تتزامن الموجات مع موجات الطرف الآخر للأنبوب. لذلك فليس من الضرورة وجود جميع الموجات عند النقطة نفسـها في اللحظة نفسها خلال دورتها. وتذكر مما درسته سابقًا أن الموجات التي تنتقل بالطور نفسه وتتوافق عند الحدود الدنيا والحدود القصوى تكون مترابطة. ويشار إلى أن موجات الضوء المترابطة تكـون **ضوءًا مترابطًا**، بينـما تنتج موجات الضوء المختلفة في الطـور **ضوءًا غير مترابط**. ويوضح **الشكل 15–4** نوعي هذه الموجات.

ينبعث الضوء من الذرات المثارة. وقد درسـت حتى الآن طريقتين يمكن أن تثار الذرات بهـما، وهما: الإثارة الحرارية، وتصادم الإلكترون. لكن يمكن للذرات أن تثار أيضًا نتيجة تصادمها مع فوتونات ذات طاقة محددة.

■ **الشكل 15–4** يوضح موجات الضوء غير المترابطة (a) وموجات الضوء المترابطة (b).





■ **الشكل 16–4** خلال الانبعاث التلقائي، ينتقل إلكترون من حالة الإثارة E_2 إلى حالة الاستقرار E_1. فينبعث تلقائيًا فوتون طاقته hf (a). وخلال الانبعاث المحفز تصطدم ذرة بفوتون ساقط طاقته E_2-E_1، فتنتقل الذرة إلى حالة الاستقرار وتبعث فوتونًا. وكل من الفوتون الساقط والفوتون المنبعث لهما الطاقة نفسها $E_{\text{الفوتون}} = E_2 - E_1$ (b).

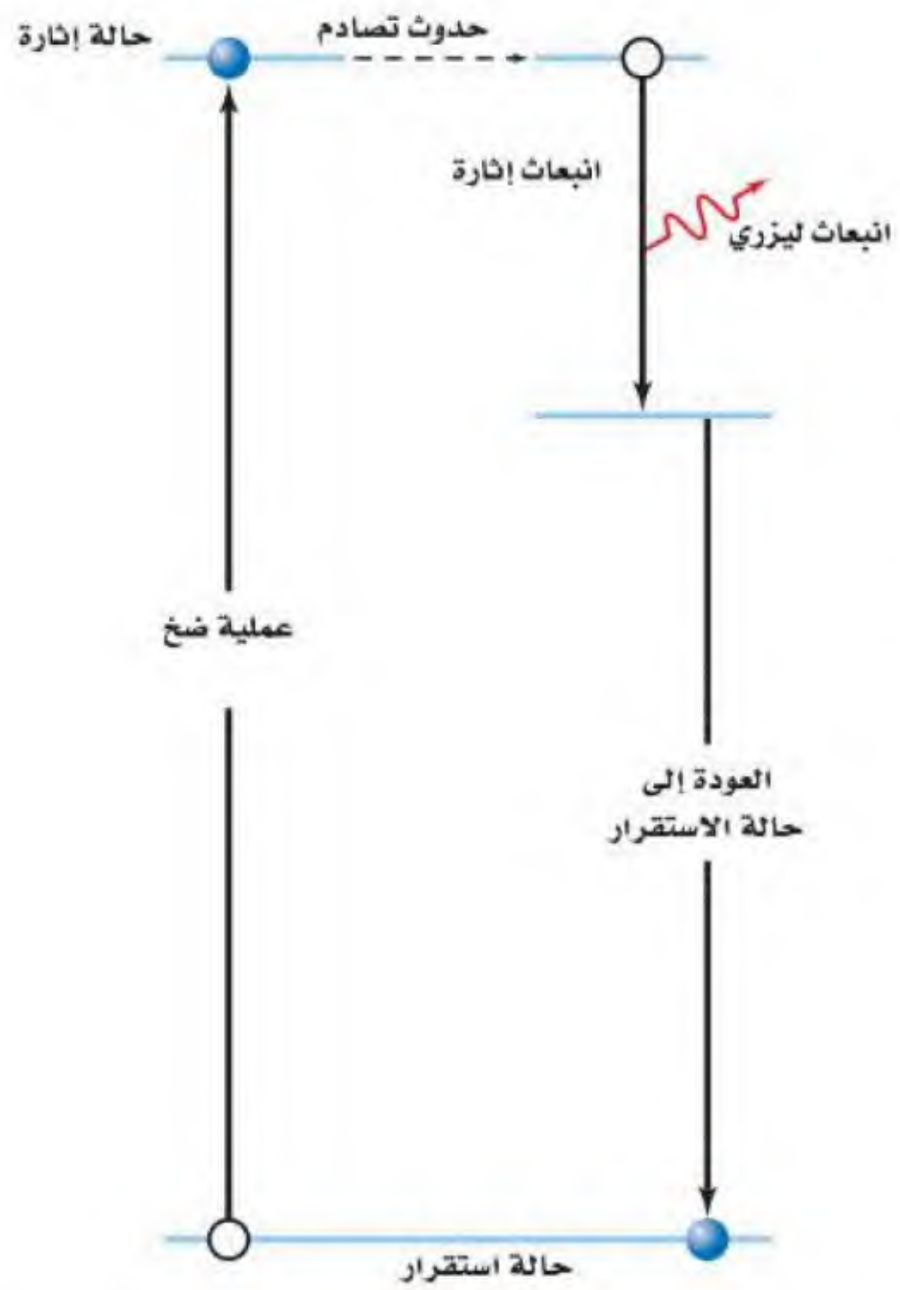
الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز ماذا يحدث بعد أن تصبح الذرة في حالة إثارة؟ تعود الذرة بعد وقت قصير عادة إلى حالتها المستقرة باعثة فوتونًا له الطاقة نفسها التي كان قد امتصها، كما هو موضح في **الشكل 16a–4**، وهذه العملية تسمى الانبعاث التلقائي.

فكّر أينشتاين عام 1917م فيما يحدث لذرة مثارة أصلاً، اصطدمت بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين حالة الإثارة وحالة مستقرة، فبيّن حينها أن هذه الحالة للذرة تسمى **الانبعاث المحفز**؛ حيث تعود الذرة إلى حالة الاستقرار وتبعث بفوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين الحالتين. بينما لا يتأثر الفوتون الذي سبّب أو حفّز الانبعاث. ثم يغادران الذرة معًا ليس بالتردد نفسه فقط، بل يكون لهما الطور نفسه، ويكونان مترابطين كذلك، كما هو موضح في **الشكل 16b–4**، وقد يصطدم أي من هذين الفوتونين بذرات أخرى مثارة، ومن ثم ينتج فوتونات أخرى؛ بحيث يكون لها الطور نفسه مع الفوتونات الأصلية. وقد تستمر هذه العملية منتجة سيلاً من الفوتونات التي لها الطول الموجي نفسه، حيث يكون لها جميعا حدود قصوى وحدود دنيا في اللحظة نفسها.

هذه العملية محددة بالشروط التالية حتى تحدث. أولاً: يجب أن تكون هناك ذرات أخرى مثارة. ثانيًا: يجب أن تبقى الذرات مثارة لفترة زمنية كافية حتى يحدث التصادم. ثالثًا: يجب السيطرة على الفوتونات وتوجيهها لتكون قادرة على إحداث تصادم مع الذرات المثارة.

في عام 1959م تم ابتكار أداة تسمى **ليزر**، وقد حققت جميع الشروط اللازمة لإنتاج ضوء مترابط. وكلمة ليزر هي اختصار للعبارة "تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحرض للإشعاع". والذرة التي تبعث الضوء عندما تكون مثارة في الليزر تسمى ذرة ليزرية.

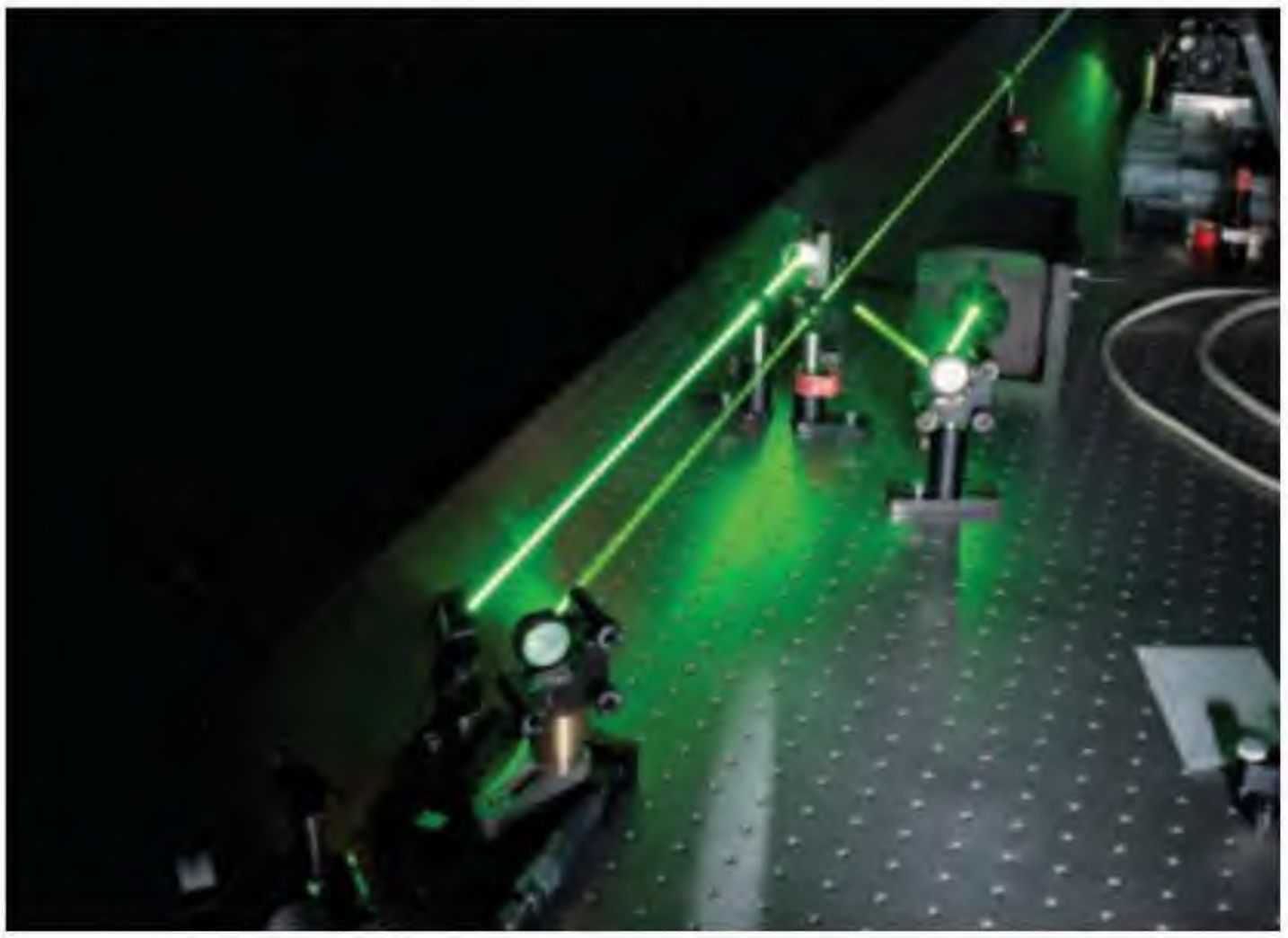
إثارة الذرة الذرات في الليزر يمكن أن تثار أو تضخ، كما هو موضح في **الشكل 17–4**. حيث يمكن لومضة كثيفة من الضوء ذات طول موجي أقصر من الليزر أن تستخدم لضخ الذرات. وتُنتج الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر والطاقة الأكبر بواسطة الومضة التي تصطدم بذرات الليزر لتصبح مثارة. وعندما تنتقل إحدى الذرات المثارة إلى مستوى الطاقة الأدنى بانبعاث فوتون، يبدأ انبعاث سيل من الفوتونات. وهذه نتيجة عملية لانبعاث ومضة صغيرة أو نبضة من ضوء الليزر. كما يمكن للذرات الليزرية أن تثار نتيجة التصادم مع ذرات أخرى. ففي أجهزة ليزر هيليوم– نيون التي نشاهدها غالبًا في الغرف الصفية فإن التفريغ الكهربائي هو الذي يثير ذرات الهيليوم، حيث تصطدم ذرات الهيليوم المثارة مع ذرات النيون لتصبح مثارة، وتتحول إلى ذرات ليزرية. وضوء الليزر الناتج عن هذه العملية يكون مستمرًّا وليس على شكل نبضات.



■ **الشكل 17–4** عندما يصطدم فوتون مع ذرة مثارة فإنه يحفز الذرة لتبعث فوتونًا مترابطًا ثانيًا لتعود الذرة إلى حالتها الأولى.

إنتاج الليزر الفوتونات المنبعثة من الذرات الليزرية تبقى محتواة عن طريق حصر تلك الذرات في أنبوب زجاجي على طرفيه المتقابلين مرايا مستوية متوازية وسطوحها العاكسة متقابلة. إحدى هذه المرايا عاكسة بمقدار يزيد على 99.9%، وتعكس كل الضوء الساقط عليها تقريبًا، بينما المرآة الأخرى عاكسة وتسمح لـ 1٪ من الضوء الساقط عليها بالمرور من خلالها. حيث تنعكس الفوتونات التي تنبعث في اتجاه نهايتي الأنبوب مرتدة إلى الغاز بواسطة المرايا، وتصطدم الفوتونات المنعكسة بذرات أكثر محرِّرة فوتونات أكثر عند كل عبور بين المرايا. وباستمرار العملية تتكوّن كثافة أكبر من الفوتونات، ثم تخرج الفوتونات من الأنبوب خلال المرآة الجزئية الانعكاس منتجة شعاع ليزر. **الشكل 18–4** يوضح الليزر المستخدم في المختبر.

ولأن جميع فوتونات الإثارة تنبعث في الطور نفسه مع الفوتونات التي تصطدم بالذرات فإن ضوء الليزر يكون مترابطًا. وكذلك فإن ضوء الليزر له الطول الموجي نفسه (أحادي اللون) بسبب انتقال الإلكترونات بين زوج واحد فقط من مستويات الطاقة، وفي نوع واحد من الذرات. المرايا المتوازية المستخدمة في الليزر والتي ينتج عنها انبعاث ضوء الليزر تكون موجهة بدقة عالية جدًّا. ومن جهة أخرى، فإن ضوء الليزر لا ينحرف مهما ابتعد عن مصدره. ولأن شعاع الليزر التقليدي صغير جدًّا، لا يتجاوز قطره 2 mm فإن الضوء يكون عالي الكثافة. ويمكن تصنيع بعض المواد الصلبة والسائلة والغازية لتصبح ليزرية. من ناحية أخرى فإن معظم المواد تنتج ضوء ليزر بطول موجي واحد. ويمكن إعادة ضبط الضوء الصادر من بعض مصادر الليزر على مدى معين من الأطوال الموجية.



■ **الشكل 18–4** ينتج مصدر الأرجون هذا شعاعًا من ضوء مترابط.

الجدول 1–4

مصادر الليزر الشائعة

الوسط	الطول الموجي (nm)	النوع
كريبتون– فلوريد مثار (غاز krF)	248 (فوق بنفسجي)	نبض
نيتروجين (غاز N_2)	337 (فوق بنفسجي)	نبض
نيتريد جاليوم والإنديوم (بلورة InGaN)	420	مستمر
أيون الأرجون (غاز Ar^+)	476.5، 488.0، 514.5	مستمر
النيون (غاز Ne)	632.8	مستمر
زرنيخات الجاليوم والألومنيوم (بلورة Ga AlAs)	635، 680	مستمر
زرنيخات الجاليوم (بلورة Ga As)	840 –1350 (تحت حمراء)	مستمر
نيوديميوم (بلورة Nd،YAG)	1064 (تحت حمراء)	نبض
ثاني أكسيد الكربون (غاز CO_2)	10600 (تحت حمراء)	مستمر

تطبيقات الليزر Laser Applications

عندما تشـغل جهاز تشـغيل القرص المدمج CD أو DVD فإنك بذلك تستخدم الليزر. وأجهزة الليزر هذه تشـبه تلك المسـتخدمة في مؤشرات الليزر، وهي مصنوعة من مواد صلبة شـبه موصلة. فمصدر الليزر في مشـغل القرص المدمج مصنـوع من طبقات من زرنيخات الجاليوم (GaAs)، ومن جاليوم ألومنيوم وزرنيخات (GaAlAs).

ويبلغ سـمك الطبقة الليزرية 200 nm فقط. وطول كل جانـب من البلورة 1–2 mm فقط. وتضخ ذرات المادة شـبه الموصلة الصلبة بواسطة تيار كهربائي وتضخم الفوتونات الناتجة كلـما ارتدت بين نهايات البلورة المصقولة. يوضح **الجـدول 1–4** الطول الموجي، ونوع وشكل الليزر، وهل هو نبض أو مستمر لبعض أنواع الليزر الشائعة.

معظم مواد الليزر ليسـت شـديدة الفاعلية. فمثلاً لا تزيد الطاقة الكهربائية المتحولة إلى طاقـة ضوئية في غاز الليزر على 1 %. على الرغم مـن أن الليزر البلوري له فاعلية 20% تقريبًـا، فغالبًا ما يكون له قدرة أقل كثيرًا مقارنة بالليزرات الغازية. وعلى الرغم من عدم فاعليتـه فإن خصائص ضوء الليزر المميزة جعلته يدخـل في كثير من التطبيقات. وحزمة أشـعة الليزر ضيّقة وموجهة بدقة كبيرة، ولا تتشـتت على مدى المسافات الكبيرة، ولهذا السـبب يسـتخدم الباحثون حزم الليزر في بعض التطبيقات كاختبار اسـتقامة الأنفاق والأنابيب.

عندما هبط رواد الفضاء على سـطح القمر قاموا بتثبيت مرايا على سـطحه، وهذه المرايا اسـتخدمت لتعكس حزم الليزر التي ترسـل من الأرض، وبذلك أمكن حساب المسافة بين القمر والأرض بدقة عالية، وكذلك تتبُّع مواقع القمر من مناطق مختلفة على الأرض، وقياس حركة الصفائح التكتونية الأرضية.

يسـتخدم ضوء الليزر كثيرًا في اتصـالات الألياف البصرية؛ حيث يعمل سـلك الليف البصري على الانعكاسات الداخلية الكلية لنقل الضوء داخل السلك على طول مسافات تمتد عدة كيلومترات بخسـارة بسيطة لطاقة الإشارة. وجهاز الليزر الذي يعمل على طول موجـي 1300–1500 nm يتصل وينفصل بتتابع سريع جدًّا فينقل المعلومات كسلسـلة من النبضات خلال الليف. وقد حلت الألياف البصرية على مسـتوى العالم محل الأسلاك النحاسـية لنقل المكالمات التليفونية، وبيانات الحاسـوب، أو حتى الصور التليفزيونية.

تطبيق الفيزياء

جراحة العين بالليزر

يستخدم الليزر في جراحة العين؛ لأن طاقة الفوتونات التي تبعثها قادرة على تدمير النسيج غير الطبيعي دون إحداث أذى بالأنسجة السليمة المحيطة. لذلك يستطيع الجرّاح الماهر - باستخدام الليزر - إزالة طبقات رقيقة جدًا من الأنسجة لإعادة شكل الشبكية.

King Faisal PRIZE



مُنح البروفيسور أحمد حسن زويل جائزة الملك فيصل / فرع العلوم لعام 1409هـ / 1989 م وذلك لاختصاصه الرائد في استخدامه أشعة الليزر للتحكم في التفاعلات الكيميائية بإعطاء الذرات الطاقة اللازمة لها في الموضع المناسب حتى تنتج التفاعلات المطلوبة فقط، ويمتنع ما سواها.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم



■ **الشكل 19–4** فوتونات الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من جهاز الليزر هذا قادرة على نزع إلكترونات من ذرات أنسجة الهدف؛ حيث تحطم الفوتونات الروابط الكيميائية وتبخر الأنسجة.

وكذلك فإن الطول الموجي الأحادي للضوء الصادر عن أجهزة الليزر يجعلها تستخدم في أجهزة المطياف. حيث يستخدم ضوء الليزر لإثارة ذرات أخرى، ثم تعود الذرات بعد ذلك إلى حالة الاستقرار وتبعث طيفًا مميّزًا. ويمكن للعينات ذات عدد الذرات الصغير جدًّا أن تحلّل بهذه الطريقة. وقد تم الكشف عن ذرات مفردة وتم تثبيتها بلا حراك تقريبًا عن طريق الإثارة بالليزر.

تستخدم الطاقة المركّزة لضوء الليزر بطرائق متعددة. ففي الطب مثلاً يستخدم الليزر في إعادة تشكيل قرنية العين. ويمكن استخدامه في الجراحة أيضًا، كما هو موضح في **الشكل 19–4**. ويستخدم الليزر بدلاً من المشرط أو الشفرة لقطع الأنسجة بفقدان اليسير من الدم. ويستخدم الليزر في الصناعة أيضًا لقطْع المعادن مثل الفولاذ وتلحيم المواد معًا. ومن المحتمل في المستقبل أن يستخدم الليزر في إنتاج اندماج نووي لإيجاد مصدر للطاقة.

جهاز الهولوجرام الموضح في **الشكل 20–4**، عبارة عن مسجّل فوتوجرافي لكل من كثافة وطور الضوء. وقد أصبح إنتاج أجهزة الهولوجرام ممكنًا بفضل الطبيعة المترابطة لضوء الليزر. وباستطاعة أجهزة الهولوجرام هذه تكوين صور ثلاثية الأبعاد. وهناك تطبيقات أخرى تستخدم في الصناعة لدراسة اهتزازات المعدّات الحساسة ومكوناتها.

■ **الشكل 20–4** يتشكل الهولوجرام عندما يسجّل تداخل شعاعي الليزر كلاً من كثافة وطور الضوء المنبعث من الجسم على الفيلم.



2–4 مراجعة

16. **أجهزة الليزر** أي أجهزة الليزر في الجدول **1–4** تبعث ضوءًا أكثر احمرارًا (ضوءًا مرئيًّا ذا طول موجي كبير)، وأيها يبعث ضوءًا أزرق، وأيها يبعث حزمًا ضوئية لا يمكن رؤيتها بالعين؟
17. **ضخ الذرات** وضح ما إذا كان يمكن استخدام الضوء الأخضر لضخ ضوء ليزر أحمر. لماذا لا يستخدم الضوء الأحمر لضخ الضوء الأخضر؟
18. **محددات نموذج بور** ما أوجه القصور في نموذج بور، على الرغم من توقعه سلوك ذرة الهيدروجين بدقة؟
19. **النموذج الكمي** وضح لماذا تعارَض نموذج بور للذرة مع مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج، بينما لم يتعارض النموذج الكمي معه.
20. **أجهزة الليزر** وضّح كيف يعمل ليزر الانبعاث المحفز على إنتاج ضوء مترابط.
21. **ضوء الليزر** ما الخصائص الأربعة لضوء الليزر التي تجعله مفيدًا؟
22. **التفكير الناقد** افترض أنه تم الحصول على سحابة صغيرة جدًّا من الإلكترونات، بحيث تكون الذرة بحجم النواة تقريبًا. استخدم مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج لتوضيح لماذا تستهلك كمية هائلة من الطاقة في هذه الحالة.

مختبر الفيزياء

إيجاد حجم الذرة

استخدم العالم إرنست راذرفورد التحليل الإحصائي والاحتمالات للمساعدة على تحليل نتائج تجربة صفيحة الذهب الرقيقة. في هذه التجربة سوف تشكل نموذجًا لصفيحة رقيقة من الذهب مستخدمًا كرات صغيرة وكؤوسًا.

ثم تحلل نتائجك عن طريق الاحتمالات لتقدير حجم جسم لا يمكن رؤيته.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام الاحتمالات لتحديد حجم جسم لا يمكن رؤيته؟

الأهداف

- **تفسير البيانات** لتحديد احتمالية تصادم الكرات الصغيرة مع الجسم غير المرئي.
- **حساب** حجم الجسم غير المرئي اعتمادًا على الاحتمالات.

احتياطات السلامة



- **تأكد من التقاط الكرات الصغيرة فور سقوطها على الأرض.**

المواد والأدوات

صندوق كرتون.

ثلاث كؤوس ورقية صغيرة متماثلة.

200 كرة صغيرة.

مسطرة.

منشفة أو قطعة قماش كبيرة.



الخطوات

1. استخدم المسطرة لقياس طول وعرض الصندوق من الداخل. دوّن القياسات في جدول النتائج.
2. استخدم المسطرة لقياس قطر فوهة إحدى الكؤوس. دوّن القياس في جدول النتائج.
3. ضع الصندوق عند وسط المنشفة المطوية، بحيث تمتد المنشفة على الأقل 30 cm حول جوانب الصندوق.
4. ضع الكؤوس الورقية الثلاث عشوائيًا على قاعدة الصندوق.
5. يقوم أحد زملائك بإسقاط 200 كرة صغيرة عشوائيًا في الصندوق. تأكد أن يوزع زميلك الكرات الصغيرة بانتظام على مساحة الصندوق. لاحظ أن بعض الكرات الصغيرة قد تسقط خارج الصندوق على المنشفة.
6. احسب عدد الكرات الصغيرة التي سقطت في الكؤوس، ودوّن القيمة في جدول النتائج.

التحليل

1. احسب مساحة صندوق الكرتون. مساحة الشكل المستطيل تعطى بالمعادلة: المساحة = الطول × العرض.
2. احسب مساحة فوهة الكأس باستخدام القطر الذي قسته. مساحة الدائرة تعطى بالمعادلة:

$$\text{المساحة} = \frac{\pi\,(\text{القطر})^2}{4}$$

3. احسب المساحة الكلية للكؤوس؛ وذلك بضرب مساحة إحدى الكؤوس في العدد الكلي للكؤوس.
4. احسب النسبة المئوية المشغولة من الصندوق بالكؤوس الثلاث، وذلك بقسمة المساحة الكلية للكؤوس على مساحة الصندوق، ثم اضرب الناتج في العدد 100.

جدول البيانات						
	بياناتك	بيانات المجموعة 2	بيانات المجموعة 3	بيانات المجموعة 4	بيانات المجموعة 5	متوسط الصف
طول الصندوق (cm)						
عرض الصندوق (cm)						
مساحة الصندوق (cm^2)						
القطر المقيس للكأس الورقية (cm)						
المساحة المحسوبة لفوهة الكأس (cm^2)						
العدد الكلي للكؤوس	3	3	3	3	3	3
المساحة الكلية المحسوبة لفوهات الكؤوس (cm^2)						
النسبة المئوية المحتلة للصندوق والمشغولة بالكؤوس (%)						
عدد الكرات الصغيرة الساقطة.	200	200	200	200	200	200
عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للكرات الصغيرة في الكؤوس.						
النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات.						
المساحة الكلية لكؤوس اعتمادًا على الإحتمالات.						
عدد الكؤوس	3	3	3	3	3	3
مساحة كأس واحدة اعتمادًا على الاحتمالات (cm^2)						

5. احسب النسبة المئوية للكرات الصغيرة التي سقطت في الكأس بقسمة عدد الكرات الصغيرة في الكؤوس على عدد الكرات الصغيرة الساقطة، ثم اضرب الناتج في العدد 100.
6. حدد النسبة المئوية للصندوق والمشغولة بالكؤوس، اعتمادًا على الاحتمالات. لاحظ أن هذه النسبة المئوية (تشبيهًا) تمثل النسبة المئوية للكرات التي سقطت في الكؤوس.
7. احسب المساحة الكلية للكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات. لحساب هذه القيمة أوجد حاصل ضرب النسبة المئوية للصندوق المشغولة بالكؤوس في مساحة الصندوق.
8. احسب مساحة كل كأس اعتمادًا على الاحتمالات. وذلك بإيجاد حاصل قسمة المساحة الكلية للكؤوس مقسومًا على ثلاثة.
9. دوّن نتائجك التجريبية من المجموعات الأخرى في جدول النتائج، ثم احسب معدلات الصف لجميع النتائج.
10. **تحليل الخطأ** قارن حساباتك لمساحة الكأس اعتمادًا على الاحتمالات (قيمة تجريبية) بمساحة الكأس المحسوبة من القطر المقيس (قيمة مقبولة). ما نسبة الخطأ المئوي في قيمتك اعتمادًا على الاحتمالات؟ احسب نسبة الخطأ المئوية مستخدمًا المعادلة التالية: النسبة المئوية للخطأ

$$= \frac{\left|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}\right|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100$$

الاستنتاج والتطبيق

1. هل كنت قادرًا على تحديد دقيق للحيز الذي تشغله الكؤوس اعتمادًا على الاحتمالات؟ فسر ذلك من حيث نسبة الخطأ.
2. اكتب قائمة بمصادر محتملة للخطأ في هذه التجربة واصفًا تأثيرها في نتائجك.

التوسع في البحث

إذا استخدمت كؤوسًا ذات أحجام أكبر من الكؤوس التي استخدمتها في تجربتك، فهل تتوقع أن تحتاج إلى عددٍ أكبر من الكرات، أم عدد مساوٍ، أم عدد أقل من عدد الكرات التي استخدمتها لتحصل على نتائج أكثر دقة.

الفيزياء في الحياة

أجرى معلمك استطلاعًا في الصف من أجل تأجيل موعد امتحان. هل تعتمد دقة الاستطلاع على عدد الطلاب الذين تم استطلاعهم؟ وضح ذلك.

تقنية المستقبل

ليزر الذرة Atom Laser

التطور الحديث تقنية الليزر الذري التي طُوّرت مؤخرًا لها مستقبل واعد. فبخلاف أجهزة الليزر التقليدية التي تصدر حزمًا أو نبضات من الفوتونات المترابطة، فإن الليزرات الذرية تصدر حزمًا أو نبضات من الذرات المترابطة. وكما سيتضح لاحقًا، فإن الفوتونات المترابطة تختلف عن الذرات المترابطة التي تكوّن المادة الطبيعية.

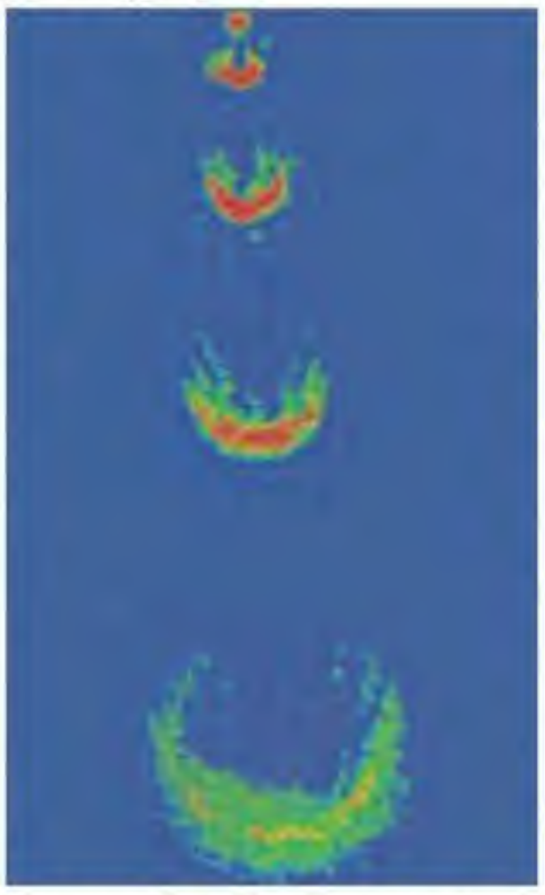
تاريخ توقع العالم برولي عام 1923م أن لجميع الجسيمات خصائص موجية، ويتناسب طولها الموجي عكسيًّا مع كتلة وسرعة الجسيم، وهو قصير جدًّا بحيث يصعب ملاحظته عند درجة حرارة الغرفة، لكن عند تبريد الذرة تقل سرعتها، ويزداد طولها الموجي.

بحث العالمان أينشتاين والعالم بوز في عام 1920م في جسيمات تسمى بوزونات. وقد توقعا أنه إذا كان بالإمكان تبريد البوزونات إلى أدنى مستوى طاقة ممكن فإن كل تلك الجسيمات سيكون لها نفس الطور والطول الموجي. أي أن هذه الجسيمات سيكون لها خصائص مترابطة. ويسمى الطور غير الطبيعي هذا تكاثف بوز-أينشتاين.

إن أول تكاثفات بوز- أينشتاين أُنتجت عام 1995م؛ حيث قام بإنتاجها العالمان إيرك كورنل وكارل ويمان، وقام بإنتاجها كذلك بشكل منفصل العالم فولجانج كيترل، الذي قام بإجراء بحث آخر، حيث وضع عينتين منفصلتين لتكاثف بوز-أينشتاين إحداهما بجانب الأخرى، ولاحظ أنماط التداخل من الذرات في هذه التكاثفات. فذهب إلى تأكيد أن جميع الذرات في حالة التكاثف لها نفس الطول الموجي والطور. وكانت الذرات في التكاثف مترابطة تمامًا، كما توقع ذلك كل من بوز وأينشتاين.

الليزر الذري الأول أعلن العالم كيترل ومساعدوه عام 1997م الخطوات الأولى في تطوير الليزر الذري؛ فقد طوّروا طريقة لقذف نبضات صغيرة (بين 100000 و 1000000 ذرة) من ذرات مترابطة من تكاثف بوز- أينشتاين في حزمة.

في هذا الليزر الذري الأول، يمكن لنبضات الذرات المترابطة الانتقال في اتجاه واحد فقط، بينما تسلك الذرات المنبعثة سلوك الجسيمات تمامًا، بحيث تتبع المسار القوسي إلى أسفل؛ نتيجة تأثير الجاذبية. وكما هو موضح في الصورة فإن الذرات المترابطة في كل نبضة تميل إلى الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة.



يبعث الليزر الذري نبضات من ذرات الصوديوم المترابطة. تحتوي كل نبضة على 10^5 إلى 10^6 من الذرات، وتتسارع النبضات إلى أسفل نتيجة تأثير الجاذبية. وتنتشر النبضات بسبب تأثير قوى التنافر.

وفي عام 1999م وجد وليم فيلبس طريقةً لإرسال نبضات من الذرات المترابطة في أي اتجاه، وكيفية منع الذرات من الانتشار بعيدًا عندما تنتشر الحزمة. وبتكوين سلسلة من الحزم القصيرة جدًّا، استطاع فيلبس تكوين حزمة مستمرة من الذرات المترابطة.

المستقبل سيتم استخدام تكاثف بوز-أينشتاين والليزرات الذرية في دراسة الخصائص الأساسية لميكانيكا الكم والموجات المادية. ويتوقع العلماء أن تكون الليزرات الذرية مفيدة في صناعة الساعات الذرية العالية الدقة، وفي صناعة دوائر إلكترونية صغيرة. ويمكن أن تستخدم الليزرات الذرية أيضًا في علم القياس بالتداخل الضوئي الذري لقياس قوى التجاذب بدقة عالية، ولاختبار النسبية.

التوسع

1. **بحث** ابحث في ماهية الفيرميونات. وهل باستطاعتها تكوين تكاثف بوز- أينشتاين؟ (توضيح: انظر كيف يطبق مبدأ باول في الاستبعاد على الفيرميونات).
2. **التفكير الناقد** تعمل الليزرات الذرية في منطقة تفريغ عالية جدًّا. ترى، ما سبب صحة ذلك؟

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 نموذج بور الذري The Bohr Model of the Atom

المفردات

- جسيمات ألفا
- نواة
- طيف الامتصاص
- مستوى الطاقة
- حالة الاستقرار
- حالة الإثارة
- عدد الكم الرئيس

المفاهيم الرئيسة

- قذف العالم إرنست راذرفورد جسيمات ألفا الموجبة الشحنة ذات السرعات العالية على صفيحة رقيقة من الذهب. ومن دراسته لمسارات الجسيمات المنحرفة استنتج أن معظم حجم الذرة فراغ. كذلك توقع وجود نواة ثقيلة وصغيرة جدًّا وذات شحنة موجبة في مركز الذرة.
- يمكن استخدام الطيف الناتج عن ذرات العنصر لتحديد عينة مجهولة من ذلك العنصر.
- إذا عبر ضوء أبيض خلال غاز فإن الغاز يمتص الأطوال الموجية نفسها التي سوف يبعثها عندما يثار. وإذا عبر الضوء بعد ذلك خلال منشور فإن طيف الامتصاص للغاز يكون مرئيًّا.
- أظهر نموذج نيلز بور للذرة بصورة صحيحة أن طاقة الذرة لها قيم محددة فقط، لذلك فإنها مكمّاة. وأن طاقة ذرة الهيدروجين في مستوى طاقة n تساوي حاصل ضرب $-13.6\ eV$ ومعكوس n^2.

$$E_n = -13.6\ eV \times \frac{1}{n^2}$$

- اعتمادًا على نموذج بور، ينتقل الإلكترون بين مستويات الطاقة المسموح بها، وهذه الطاقة تمتص أو تبعث على شكل فوتونات (موجات كهرومغناطيسية). وطاقة الفوتون تساوي الفرق بين الحالتين الابتدائية والنهائية للذرة.

$$E_{\text{فوتون}} = E_f - E_i$$

- اعتمادًا على نموذج بور، فإن نصف قطر مدار الإلكترون يكون له قيم محددة (مكمّاة). نصف قطر مدار الإلكترون في مستوى الطاقة n لذرة الهيدروجين يعطى بالمعادلة:

$$r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 kmq^2}$$

4–2 النموذج الكمي للذرة The Quantum Model of the Atom

المفردات

- النموذج الكمي
- السحابة الإلكترونية
- ميكانيكا الكم
- الضوء المترابط
- الضوء غير المترابط
- الانبعاث المحفز
- الليزر

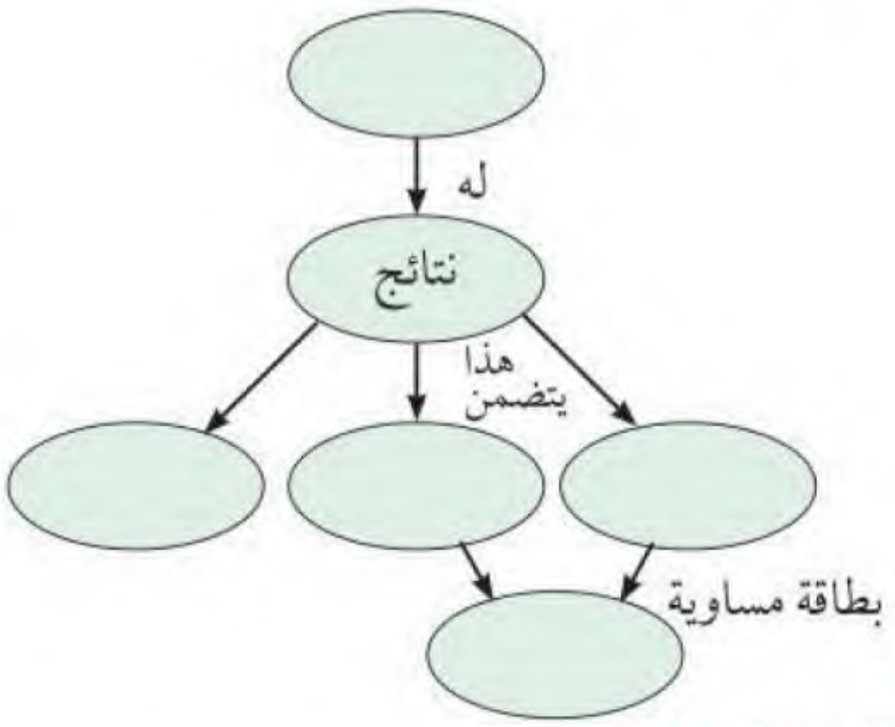
المفاهيم الرئيسة

- في النموذج الكمي- الميكانيكي للذرة، لطاقة الذرة قيم محددة فقط، قيم مكمّاة.
- في النموذج الكمي- الميكانيكي للذرة، يمكن تحديد احتمالية إيجاد الإلكترون في منطقة محددة فقط في ذرة الهيدروجين، فالمسافة الأكثر احتمالية للإلكترون عن النواة تساوي نصف قطر مستوى الإلكترون في نموذج بور.
- نجحت ميكانيكا الكم إلى حدٍّ كبير في تحديد خصائص الذرات والجزيئات والمواد الصلبة.
- تنتج أجهزة الليزر ضوءًا أحادي اللون ومترابطًا وموجهًا وذا طاقة عالية. وكل خاصية تمنح الليزر تطبيقات مفيدة.

الفصل 4 التقويم

خريطة المفاهيم

23. أكمل خريطة المفاهيم التالية مستخدمًا ما يلي: مستويات الطاقة، أقطار الإلكترون الثابتة، نموذج بور، انبعاث وامتصاص الفوتون، فرق مستوى الطاقة.



إتقان المفاهيم

24. وضح كيف حدد راذرفورد أن الشحنة الموجبة في الذرة متركزة في منطقة صغيرة جدًّا، وليست منتشرة في الذرة. (1-4)

25. كيف فسر نموذج بور سبب تضمن طيف الامتصاص للهيدروجين نفس ترددات طيف الانبعاث؟ (1-4)

26. . راجع النموذج النووي (نموذج الكواكب) للذرة. ما المشكلات المتعلقة بهذا النموذج؟ (1-4)

27. حلل وانتقد نموذج بور للذرة. ما الافتراضات الثلاثة التي قدمها بور لتطوير نموذجه؟ (1-4)

28. **أنابيب الغاز المفرغة** وضح كيف تنتج الأطياف الخطية في أنابيب الغاز المفرغة؟ (1-4)

29. كيف قدّم نموذج بور تفسيرًا للطيف المنبعث من الذرات؟ (1-4)

30. فسّر لماذا تختلف الأطياف الخطية الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيدروجين عن تلك الأطياف الناتجة عن أنابيب التفريغ لغاز الهيليوم. (1-4)

31. **الليزرات** إن مصدر قدرة جهاز الليزر المختبري $0.8\ mW\ (8 \times 10^{-4}\ W)$ فقط. لماذا يبدو أنه أكثر قدرة من ضوء مصباح كهربائي 100 W؟ (2-4)

32. جهاز مشابه لليزر يبعث إشعاع موجات ميكروويف يسمى الميزر. ما الكلمات المرجعية التي تكوّن هذا الاختصار؟ (2-4)

33. ما خصائص ضوء الليزر التي أدت إلى استخدامه في أجهزة العرض الضوئية؟ (2-4)

تطبيق المفاهيم

34. يختلف مستوى التعقيد لمستويات الطاقة من ذرة إلى أخرى. كيف تتوقع أن يؤثر ذلك في الأطياف التي تنتجها؟

35. **الأضواء الشمالية** تحدث الأضواء الشمالية بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية قادمة من الشمس عندما تصطدم بذرات في الغلاف الغازي للأرض. إذا نظرت إلى هذه الأضواء بمنظار طيفي فهل تشاهد طيفًا متصلاً، أم طيفًا خطيًّا؟ فسّر.

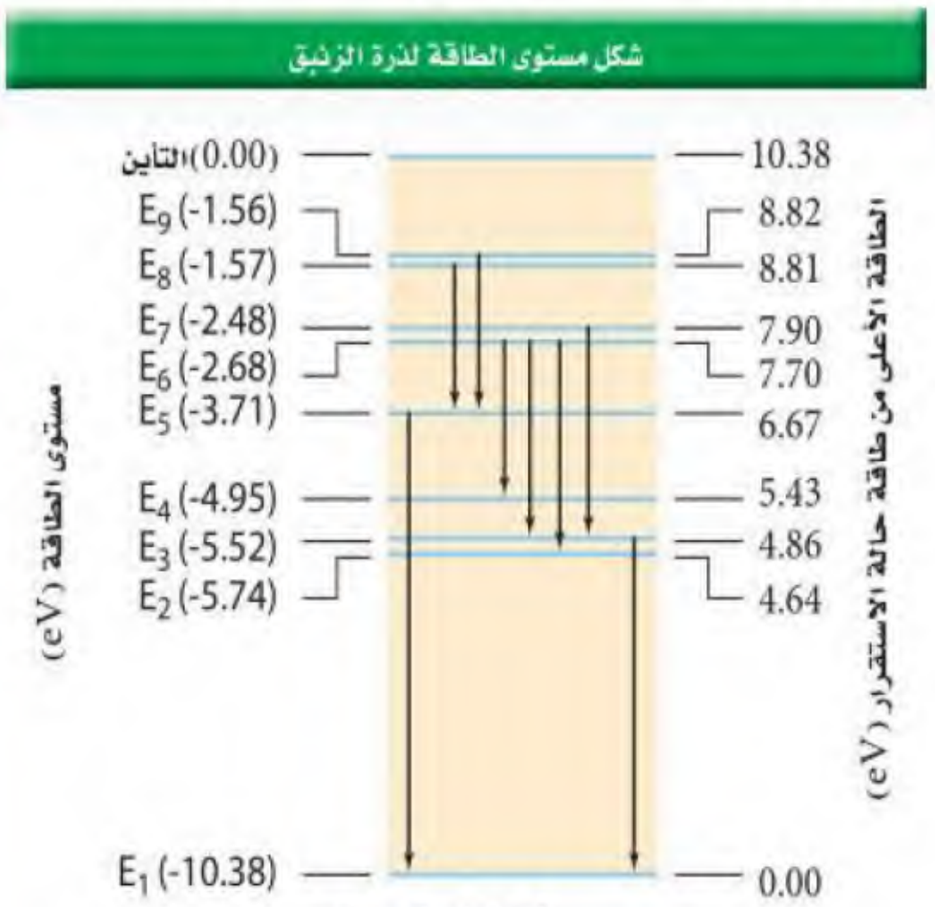
36. إذا انبعث ضوء أبيض من سطح الأرض وشاهده شخص من الفضاء، فهل يظهر الطيف بحيث يكون متصلاً؟ فسّر.

37. هل تعدّ قطع النقود مثالاً جيدًا للتكمية؟ هل يعدّ الماء كذلك؟ فسّر.

38. ذرة لها أربعة مستويات للطاقة، E_4 مستوى الطاقة الأعلى، و E_1 مستوى الطاقة الأدنى. إذا حدثت انتقالات بين أي مستويين للطاقة، فما الأطوال الموجية المختلفة التي تستطيع الذرة أن تبعثها؟ وما الانتقال الذي يبعث فوتونًا بأعلى طاقة؟

تقويم الفصل 4

39. من **الشكل 21–4**، يدخل فوتون طاقته 6.2 eV ذرة زئبق في حالة استقرار. هل تمتصه الذرة ؟ فسّر.



الشكل 21–4

40. ينبعث فوتون عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة خلال مستويات طاقة أدنى. ما مقدار الطاقة العظمى التي يمكن أن تكون للفوتون؟ وإذا مُنحت كمية الطاقة هذه لذرة في حالة الاستقرار، فما الذي يحدث؟

41. قارن بين نظرية الكم الميكانيكية للذرة ونموذج بور.

42. أي الليزرات – الأحمر أو الأخضر أو الأزرق – ينتج فوتونات طاقتها أكبر؟

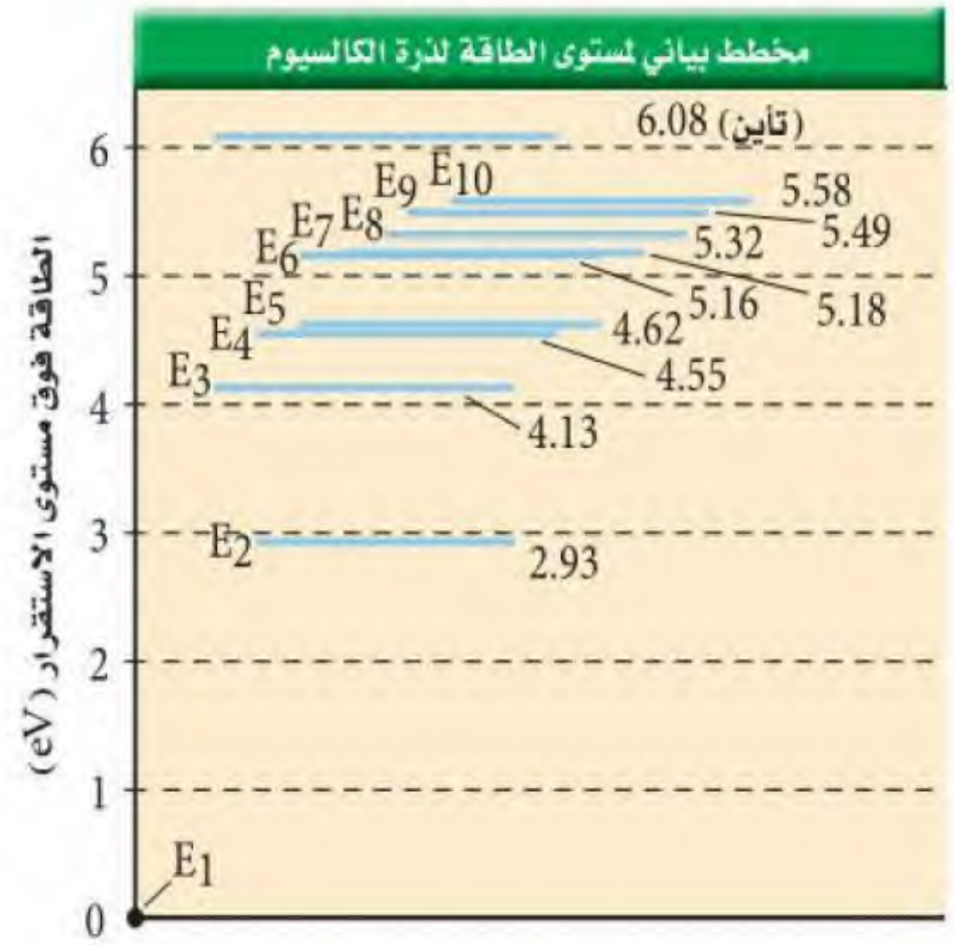
إتقان حل المسائل

4–1 نموذج بور الذري

43. ينتقل إلكترون ذرة كالسيوم من مستوى طاقة 5.16 eV فوق مستوى الاستقرار إلى مستوى طاقته 2.93 eV فوق مستوى الاستقرار. ما الطول الموجي للفوتون المنبعث؟

44. إذا دخل فوتون ضوء برتقالي طوله الموجي 6.00×10^{2} nm في ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى الطاقة E_6 فتأينت الذرة، فما مقدار طاقة حركة الإلكترون المنبعث من الذرة؟ ارجع **للشكل 22–4**.

45. ذرة كالسيوم مثارة إلى مستوى طاقة E_2 طاقته 2.93 eV فوق مستوى الاستقرار. اصطدم بها فوتون طاقته 1.20 eV فامتصته. إلى أي مستوى طاقة تنتقل ذرة الكالسيوم؟ ارجع إلى **الشكل 22–4**.



الشكل 22–4

46. ذرة كالسيوم مثارة عند مستوى طاقة E_6. ما مقدار الطاقة المنبعثة عندما تسقط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟ ارجع إلى **الشكل 22–4**.

47. احسب الطاقة المرتبطة بمستويات الطاقة E_7 و E_2 لذرة الهيدروجين.

48. احسب الفرق في مستويات الطاقة في المسألة السابقة.

ارجع إلى **الشكل 21–4** لحل المسألتين 49 و 50.

49. ذرة زئبق مثارة عند مستوى طاقة E_6.

a. ما مقدار الطاقة اللازمة لتأيين الذرة؟

b. ما مقدار الطاقة المتحررة عندما تسقط الذرة إلى مستوى الطاقة E_2؟

تقويم الفصل 4

50. ذرة زئبق مثارة طاقتها 4.95 eV—، امتصت فوتونًا فأصبحت في مستوى الطاقة الأعلى التالي. ما مقدار طاقة الفوتون؟ وما مقدار ترددة؟

51. مـا الطاقات المرتبطـة مع مسـتويات الطاقة لذرة الهيدروجين E_2 ، E_3 ، E_4، E_5 و E_6؟

52. باستخدام القيم المحسـوبة في المسألة 51، احسب فروق الطاقة بين مستويات الطاقة التالية:

a. E_6-E_5

b. E_6-E_3

c. E_4-E_2

d. E_5-E_2

e. E_5-E_3

53. استخدم القيم في المسألة 52 لحساب تردد الفوتونات المنبعثـة عندما ينجـز إلكـترون ذرة الهيدروجين تغيرات في مستويات الطاقة المذكورة أعلاه.

54. احسـب الطول الموجي للفوتونات ذات الترددات التي قمت بحسابها في المسألة 53.

55. تبعـث ذرة هيدروجـين فوتونًـا طولـه الموجي 94.3 nm عندما تصل إلى حالة الاستقرار. من أي مستوى طاقة انتقل إلكترونها؟

56. ذرة هيدروجين مثارة إلى $n = 3$. وفق نموذج بور، أوجد كلًّا مما يلي:

a. نصف قطر المستوى.

b. القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون.

c. التسارع المركزي للإلكترون.

d. السرعة الدورانية للإلكـترون (قارن بين هذه السرعة وسرعة الضوء).

4–2 نموذج الذرة الكمي

57. **مشغل القرص المدمج CD** تستخدم ليزرات زرنيخات الجاليوم كثيرًا في مشغلات القرص المدمج. إذا بعث مثل هذا الليـزر عند طول موجـي 840 nm، فما مقدار الفرق بوحدة eV بين مستويات الطاقة ؟

58. أُدخل ليزر GaInNi بين مسـتويات طاقة مفصولة بطاقة مقدارها 2.90 eV.

a. ما الطول الموجي للضوء المنبعث من الليزر؟

b. في أي جزء من الطيف يقع هذا الضوء؟

59. ينبعـث ليزر ثاني أكسـيد الكربون بفوتون أشـعة تحت حمراء طاقتـه عالية جدًّا. ما مقدار فرق الطاقة بوحدة eV بين مستويات الطاقة الليزرية؟ ارجع إلى الجدول 1–4.

60. طاقة حزمة ليزر تسـاوي حاصل ضرب طاقة كل فوتون منبعث في عدد الفوتونات لكل ثانية.

a. إذا أردت الحصـول على ليزر عند طول موجي 840 nm بحيث يكون له القدرة نفسـها لليزر طول موجته 427 nm، فكم مرة يتضاعف عدد الفوتونات في كل ثانية؟

b. أوجد عدد الفوتونات لكل ثانية في ليزر قدرته 5.0 m W وطوله الموجي 840 nm.

61. **ليـزرات HeNe** يمكـن صنع الليـزرات HeNe المسـتخدمة بوصفهـا مـؤشرات يسـتخدمها المحاضرون، بحيث تنتج ليزرًا عند الأطوال الموجية الثلاثة: 1152.3 nm، 543.4 nm، 632.8 nm.

a. أوجد فرق الطاقة بين كل وضعين متضمنين في حزمة كل طول موجي.

b. حدد لون كل طول موجي.

تقويم الفصل 4

مراجعة عامة

62. يدخل فوتون طاقتــه 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة الاســتقرار فيؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر من الذرة؟

63. احســب نصف قطر المســتوى لكل من مســتويي الطاقة E_5 و E_6 لذرة الهيدروجين.

64. ذرة هيدروجين في المستوى $n = 2$:

a. إذا اصطدم فوتون طوله الموجي 332 nm بهذه الذرة فهل تتأين؟ وضح ذلك.

b. عندما تتأين الذرة، افترض أن إلكترونًا يكتسب الطاقــة الزائدة عن التأين، فكــم تكون الطاقة الحركية للإلكترون بوحدة الجول؟

65. وُجهــت حزمة من الإلكترونــات إلى عينة من غاز الهيدروجين الذري. ما أقل طاقة للإلكترونات تلزم لينبعث ضوء أحمر ينتــج عندما ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من مســتوى الطاقة $n = 3$ إلى مستوى الطاقة $n = 2$؟

66. تَســتخدم أكثــر تجــارب المطيــاف دقــة تقنيات (فوتونــين)؛ حيث يوجَّه فوتونــان بأطوال موجية متكافئة على ذرات الهدف من اتجاهين متعاكســين. كل فوتون لــه نصف الطاقة اللازمة لإثارة الذرات من حالة الاستقرار إلى مســتوى الطاقة اللازم. ما طول موجة الليزر الذي يلزم لإنجاز دراســة دقيقة لفرق الطاقة بين $n = 1$ و $n = 2$ في الهيدروجين؟

التفكير الناقد

67. **تطبيق المفاهيم** يوضح الشكل **23-4** نتيجة إسقاط طيــف مصباح غاز الزئبــق ذي الضغط العالي على حائــط في غرفة مظلمة. ما فــروق الطاقة لكل من الخطوط المرئية الثلاثة؟



الشكل 23-4

68. **تفسير الرسوم التوضيحية** بعد انبعاث الفوتونات المرئية التي تم وصفها في المســألة 67، تســتمر ذرة الزئبــق في بعث فوتونــات حتى تصــل إلى حالة الاســتقرار. من خلال اختبار **الشكل 22-4** حدد ما إذا كانت هذه الفوتونات مرئية أم لا. فسر ذلك.

69. **التحليل والاستنتاج:** تتكــون ذرة البوزوترونيوم من إلكــترون وضديد مادتها النســبي (بوزترون) يرتبطــان معًــا. وعلى الرغــم من أن فــترة الحياة لهــذه الــذرة قصيرة جــدًّا (معــدل فــترة حياتها $\frac{+1}{7}\ \mu s$) فإنــه يمكــن قياس مســتويات طاقتها. يمكن اســتخدام نموذج بور لحساب الطاقات مع اســتبدال كتلة الإلكترون بمقــدار نصف كتلتها. صف كيــف تتأثر أقطار المســتويات والطاقة لكل مستوى. كم يكون الطول الموجي عند الانتقال من E_1 إلى E_2؟

تقويم الفصل 4

الكتابة في الفيزياء

70. اكتب بحثًا عن تاريخ تطور نماذج الذرة. واصفًا كل نموذج باختصار، ومحددًا أوجه القوة والضعف فيه.

71. بعث مؤشر ليزر أخضر ضوءًا طوله الموجي 532 nm. اكتب بحثًا في نوع الليزر الذي استخدم في هذا النوع من المؤشرات، وصف طريقة عمله، وحدّد ما إذا كان الليزر على شكل نبضات أم مستمرًّا.

مراجعة تراكمية

72. فكِّر في التعديلات التي يحتاج إليها تومسون ليجعل أنبوبه يسارع بروتونات بالإضافة إلى الإلكترونات، ثم أجب عن الأسئلة التالية: (الفصل 2)

a. لتحديد جسيمات لها السرعة نفسها، هل ستتغير النسبة $\frac{E}{B}$؟ فسر ذلك.

b. للمحافظة على الانحراف نفسه الذي يسببه المجال المغناطيسي، هل يجب أن يكون المجال المغناطيسي أكبر أم أقل؟ فسر ذلك.

73. جهد الإيقاف اللازم لاستعادة جميع الإلكترونات المنبعثة من فلز 7.3 V. ما مقدار الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات بوحدة الجول؟ (الفصل 3)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. "أي نماذج الذرة الآتية تعتمد على تجربة صفيحة الذهب الرقيقة لراذرفورد؟

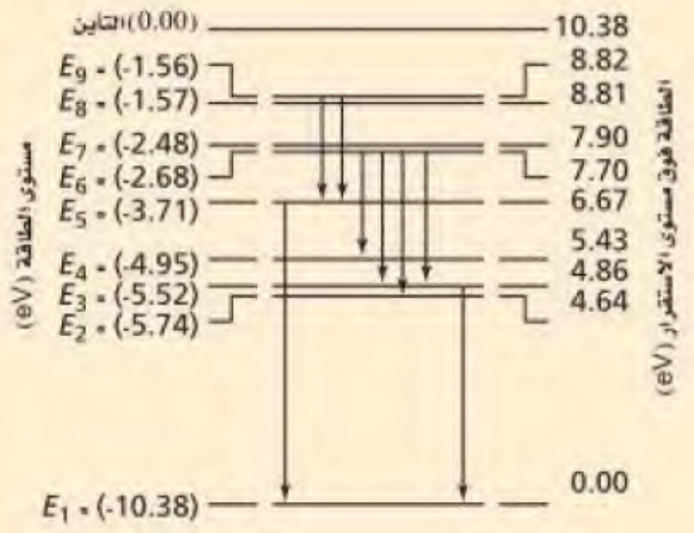
(A) نموذج بور
(B) النموذج النووي
(C) نموذج فطيرة الخوخ
(D) النموذج الكمي الميكانيكي

2. "تبعث ذرة زئبق ضوءًا طول موجته 405 nm. ما مقدار فرق الطاقة بين مستويي الطاقة في هذا الانبعاث؟

(A) 0.22 eV (C) 3.06 eV
(B) 2.14 eV (D) 4.05 eV

3. "يبيّن الرسم أدناه مستويات طاقة ذرة الزئبق. ما طول موجة الضوء المنبعث عندما تحدث تحولات في الذرة من مستوى الطاقة E_7 إلى المستوى E_4؟

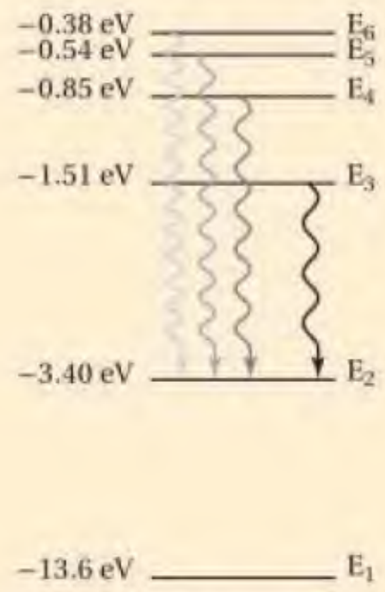
(A) 167 nm (C) 500 nm
(B) 251 nm (D) 502 nm



4. "أي الجمل الآتية عن النموذج الكمي للذرة غير صحيحة؟

(A) مستويات الطاقة المسموح بها للذرة مكماة.
(B) مواقع الإلكترونات حول النواة معروفة بدقة.
(C) تحدد سحابة الإلكترون المساحة التي يحتمل أن يوجد فيها الإلكترون.
(D) ترتبط مستويات الإلكترون المستقرة مع طول موجة دي برولي.

لحل المسألتين 5 و 6 ارجع إلى الرسم التوضيحي الذي يبين سلسلة بالمر لانتقال الإلكترون في ذرة الهيدروجين.



5. "أي تحوّل مسؤول عن انبعاث ضوء بأكبر تردد؟

(A) E_5 إلى E_2 (C) E_6 إلى E_3
(B) E_2 إلى E_3 (D) E_2 إلى E_6

6. "ما مقدار تردد خط سلسلة بالمر المرتبط بتحول مستوى الطاقة من E_4 إلى E_2؟
(لاحظ أن $1\ eV = 1.60 \times 10^{-19}\ J$)

(A) 2.55×10^{14} Hz (C) 6.15×10^{14} Hz
(B) 4.32×10^{14} Hz (D) 1.08×10^{15} Hz

الأسئلة الممتدة

7. "حدد الطول الموجي للضوء المنبعث عندما تنجز ذرة الهيدروجين تحوّلاً من مستوى طاقة $n = 5$ إلى مستوى طاقة $n = 2$؟

✓ إرشاد

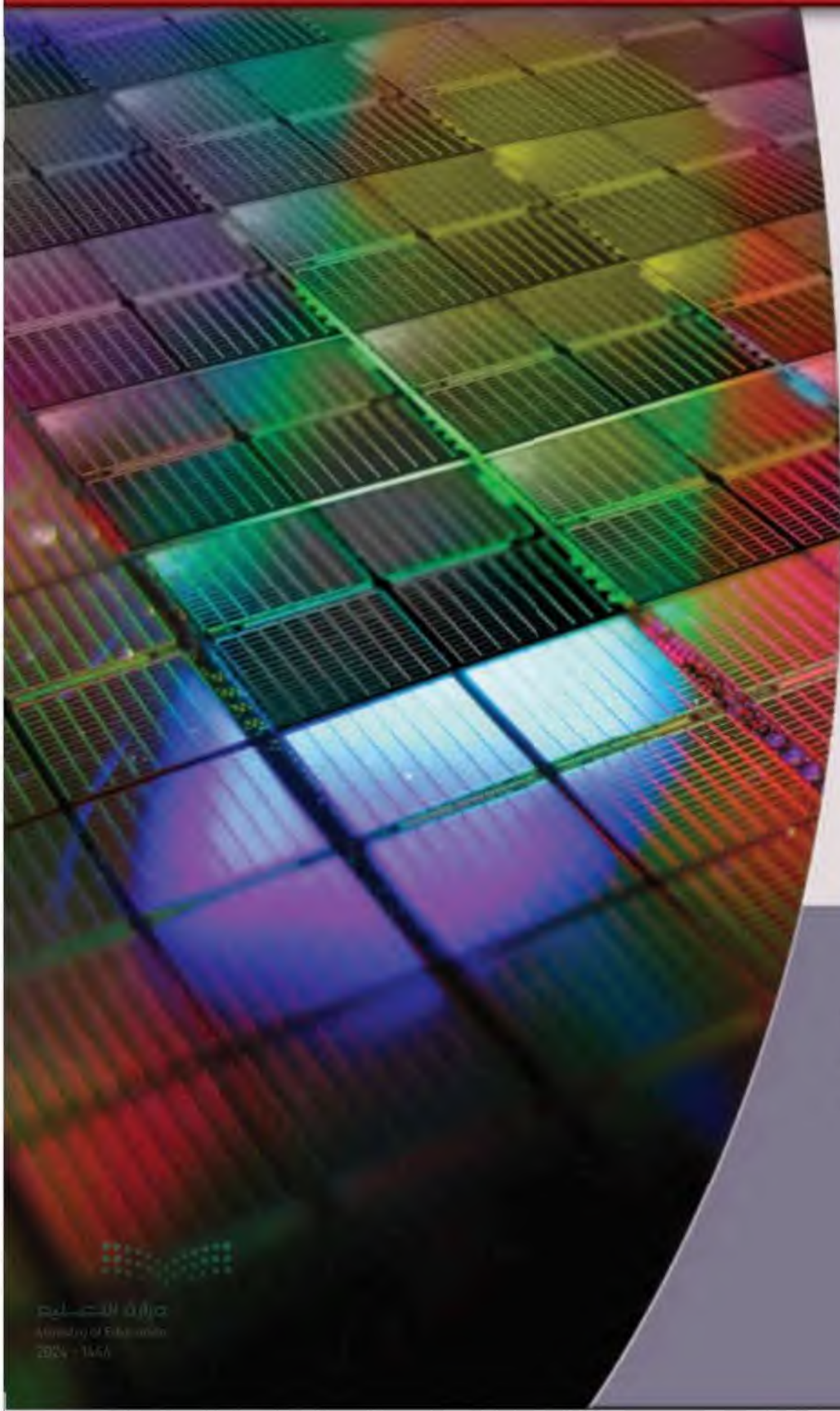
التعثر ليس كالسقوط

أحيانًا قد تواجه سؤالاً ليس لديك فكرة عن إجابته، وحتى بعد أن تقرأ السؤال عدة مرات قد لا تتكون عندك فكرة منطقية عن الإجابة. إذا كان السؤال من نوع الاختيار من متعدد، فركِّز على جزء من السؤال تعرف شيئًا عنه، واستثنِ أكبر عدد ممكن من الخيارات، واختر أحد الخيارات المتبقية، وانتقل إلى سؤال آخر.

الفصل 5

إلكترونيات الحالة الصلبة

Solid-State Electronics



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التمييز بين الموصلات وأشباه الموصلات والعوازل الكهربائية.
- معرفة كيفية تعديل أشباه الموصلات النقية لإكسابها خصائص كهربائية معينة.
- المقارنة بين الدايودات والترانزستورات.

الأهمية

لأشباه الموصلات خصائص كهربائية تمكنها من العمل موصلاتٍ في اتجاه واحد لتضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة في العديد من الأجهزة الإلكترونية الشائعة.

الرياضيات السريعة تستخدم أجهزة الحاسوب والأدوات الإلكترونية الحركة المضبوطة لكل من الإلكترونات والفجوات في أشباه الموصلات لتنفيذ العمليات الحسابية والمنطقية بسرعة.

فكّر ◄

قد تكون رقاقة السليكون الميكروية صغيرة، إلا أنها قد تحتوي على الملايين من المقاومات والدايودات والترانزستورات. فكيف يمكن لهذا المستوى من التعقيد أن يوجد في مثل هذا التركيب الصغير؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يوصل الدايود الكهرباء؟

سؤال التجربة ما طريقة توصيل دايود مشع لضوء ثنائي اللون؟

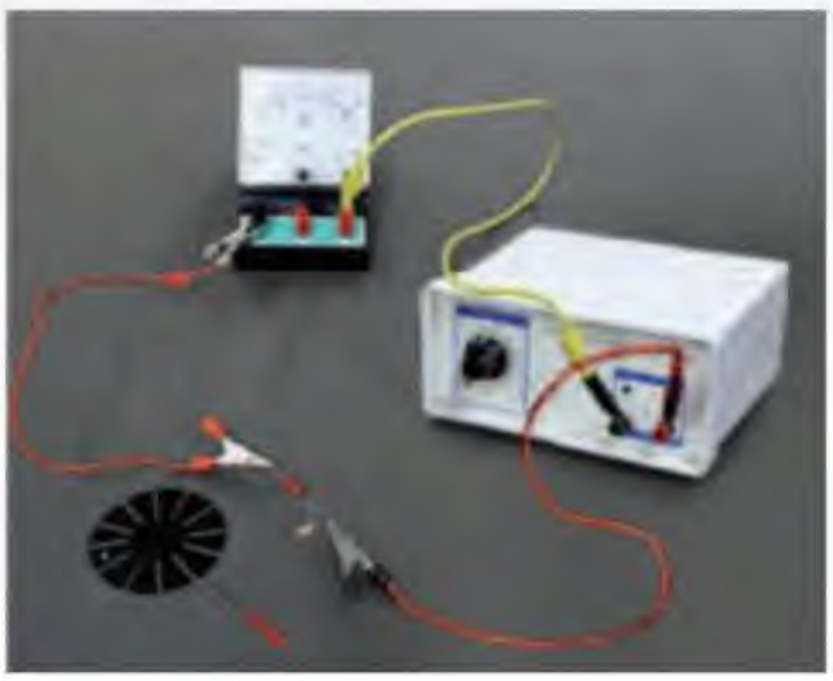
الخطوات

1. احصل على دايود مشع للضوء ذي لونين (أحمر-أخضر) ومصدر جهد كهربائي متناوب 9-12 V أو محوّل كهربائي.
2. صل مقاوم 100 Ω والدايود على التوالي مع مصدر الجهد.
3. احذر عند توصيل مصدر الجهد لكيلا تتعرض لصدمة كهربائية، ولا تلمس المقاوم لأنه قد يكون ساخنًا. صل مصدر الجهد بمقبس موصول به قاطع التفريغ الأرضي.
4. دوّن ملاحظاتك عن الدايود المشع للضوء.
5. ضع قرص ستروبوسكوب أمام الدايود ودوّره، ثم دوّن ملاحظاتك عن الدايود المشع للضوء عندما تشاهده من خلال القرص.

التحليل

كيف أصبح لون الدايود المشع للضوء بعد أن وصلته بمصدر الجهد؟ ما اللون الذي شاهدته للدايود عندما نظرت إليه من خلال قرص الستروبوسكوب؟

التفكير الناقد اقترح تفسيرًا محتملاً لملاحظاتك.



5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in Solids

لا تعتمد الأدوات الإلكترونية على الموصلات والعوازل الطبيعية فقط، ولكنها تعتمد أيضًا على مواد أخرى صممت وأنتجت بجهد وعمل مشترك من العلماء والمهندسين. سوف يبدأ هذا الفصل بدراسة كيفية توصيل المواد للكهرباء.

يعود الفضل في عمل جميع الأدوات الإلكترونية إلى أنابيب التفريغ التي استخدمت في بدايات القرن العشرين؛ حيث تتدفق الإلكترونات خلال الفراغ في أنابيب التفريغ لتكبير الإشارات الكهربائية الضعيفة وضبطها. وكانت أنابيب الغازات المفرغة المستخدمة كبيرة، مما يتطلب قدرة كهربائية كبيرة، وبسبب احتوائها على فتائل التسخين فهي تنتج كمية كبيرة من الحرارة، مما يتطلب استبدالها خلال سنة إلى خمس سنوات.

في أواخر الأربعينيات من القرن الماضي اختُرعت أدوات الحالة الصلبة، والتي يمكن أن تقوم بوظيفة أنابيب التفريغ نفسها. وصُنعت هذه الأدوات من مواد تعرف **بأشباه الموصلات**، ومنها: السليكون والجرمانيوم.

الأهداف

- تصف حركة الإلكترون في الموصلات وأشباه الموصلات الكهربائية.
- تقارن بين أشباه الموصلات من النوع السالب (n) وأشباه الموصلات من النوع الموجب (p).

المفردات

أشباه الموصلات
نظرية الأحزمة
أشباه الموصلات النقية
الشوائب
أشباه الموصلات غير النقية

وتعمل هذه الأدوات على تضخيم الإشـــارات الكهربائيـــة الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركـــة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة. وتعمل الأدوات المصنوعة من أشـــباه الموصلات بقدرة كهربائية صغيرة، وذلك بسبب قلة عدد الإلكترونات المتدفقة خلالهـــا، بالإضافة إلى أنها لا تحتوي على فتائل. وهذه الأدوات صغيرة جدًّا، ولا تولّد حـــرارة كبيرة، وتكلفة صناعتها قليلة، ويقدّر عمرها الافتراضي بعشـــرين عامًا أو أكثر.

نظرية الأحزمة للمواد الصلبة Band Theory of Solids

تتحرك الشـــحنات الكهربائية بســـهولة في الموصلات، في حيـــن لا تتحرك كذلك في العـــوازل. وعندما تختبر هذين النوعين من المواد على المســـتوى الذريّ يصبح الفرق بينهما - من حيث مقدرتهما على نقل الشحنات - أكثر وضوحًا.

كذلك تتكون المواد الصلبة البلورية مـــن ذرات مرتبطة معًا بترتيبات منتظمة، وتتكوّن الذرة من نواة كثيفة موجبة الشـــحنة محاطة بســـحابة من الإلكترونات ســـالبة الشحنة. وتوجد هذه الإلكترونات في مســـتويات طاقة محددة مســـموح بهـــا فقط. وفي معظم الظروف تشـــغل الإلكترونات في الذرة أدنى مســـتويات ممكنة للطاقة، ويشار إلى هذا بحالة الاســـتقرار. ولأن الإلكترونات لها كم محدد من الطاقة فإن أي تغيرات في الطاقة تكون مكماة؛ أي أن تغيرات الطاقة تحدث بكميات محددة.

حزم الطاقة افترض أنه يمكنك تكوين مادة صلبة عن طريق تجميع ذرات بعضها مع بعض الواحدة تلو الأخرى، فإن عليك أن تبدأ بذرة في حالة استقرار. وعندما تبدأ البلورة الصلبة في التشكل بتقريب ذرات إلى الذرة الأولى كما في **الشكل 1-5**، فإن المجالات الكهربائية لهذه الذرات تؤثر في مســـتويات طاقة إلكتروناتها، وتكون النتيجة أن مستويات الطاقة لحالة الاســـتقرار في كل ذرة في البلورة الصلبة تتجزأ إلى مستويات طاقة متعددة بسبب المجالات الكهربائية للذرات المجاورة لها. ولذلك سيوجد الكثير من هذه المستويات



■ **الشكل 1-5** تتجزأ مستويات الطاقة الخارجية لذرتين عند تقاربهما من بعضهما (a)، وبالتالي ينتج عن تقارب اربع ذرات مضاعفة هذه التجزئات(b)، وعند تقارب مجموعة أكبر من الذرات تصبح مستويات الطاقة متقاربة جدا لازدياد عدد التجزئات فيمكن تمثيلها بحزم طاقة؛ كما تتشكل أيضا فجوة طاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل(c)



■ **الشكل 2–5** مقارنة فجوة الطاقة بين السيلكون البلوري والكربون البلوري (الألماس)

القريبة جدًّا بعضها إلى بعض، التي لا تبدو منفصلة، ولكنها تظهر كحزم طاقة، وحزم الطاقة ذات مستويات الطاقة الدنيا أو حزم التكافؤ تكون مملوءة بإلكترونات مرتبطة في البلورة، أما مستويات الطاقة العليا أو حزم التوصيل فيكون انتقال الإلكترونات فيها من ذرة إلى أخرى متاحًا.

لاحظ من **الشكل 2 –5** أن الفواصل الذرية للسليكون البلوري والكربون البلوري (الألماس) تتحول إلى حزم تكافؤ وحزم توصيل يفصل بعضها عن بعض فجوات طاقة. ولا يوجد في هذه الفجوات مستويات طاقة متاحة للإلكترونات، لذا تسمى هذه الفجوات مناطق الطاقة الممنوعة أو المحظورة. ويسمى هذا الوصف لحزمتي التكافؤ والتوصيل المنفصلتين بفجوات الطاقة الممنوعة **نظرية الأحزمة** للمواد الصلبة، ويمكن استخدامها من أجل فهم أفضل للتوصيل الكهربائي. فمثلا يشير **الشكل 2 —5** إلى الحاجة إلى طاقة كبيرة لنقل إلكترونات التكافؤ من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل في حالة الكربون البلوري (التركيب الماسي)، مقارنة بالسليكون. ويعدّ الكربون في شكله الجرافيتي موصلاً جيدًا؛ لأن ترتيب الذرات فيه يمنحه فجوة طاقة أقل مقارنة بحالة الماس.

وللسليكون البلوري فجوة طاقة صغيرة مقارنة بفجوة الطاقة للماس. وعند درجة حرارة الصفر المطلق تكون حزمة تكافؤ السليكون مملوءة كليًّا بالإلكترونات، وتكون حزمة التوصيل فارغة تمامًا. أما عند درجة حرارة الغرفة، فيكون لعدد معين من إلكترونات التكافؤ طاقة حرارية كافية لتقفز هذه الإلكترونات عن الفجوة 1.1 eV لتصل إلى حزمة التوصيل، وتكوّن نواقل للشحنة. وعندما تزداد درجة الحرارة، وتكتسب المزيد من الإلكترونات طاقة كافية للقفز عن الفجوة، تزداد موصلية السليكون. وللجرمانيوم فجوة طاقة مقدارها 0.7 eV، وهي أقل من فجوة طاقة السليكون، وهذا يعني أن الجرمانيوم أكثر موصلية من السليكون عند أي درجة حرارة، ويعني أيضًا أن الجرمانيوم حساس جدًّا للحرارة في معظم التطبيقات الإلكترونية. تسبب التغيرات الطفيفة نسبيًّا في درجة الحرارة تغيرات كبيرة في موصلية الجرمانيوم، مما يجعل عملية ضبط الدوائر الكهربائية واستقرارها أمرًا صعبًا.

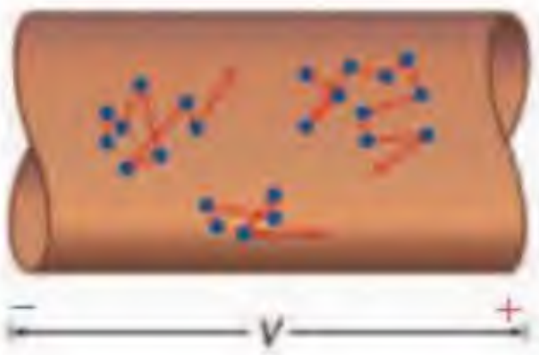
وللرصاص فراغات تبلغ 0.27mm بين ذراته وهذا من شأنه أن يقود إلى توقع بأن الرصاص موصلًا جيدًا، وهوكذلك فعلًا وتعد المواد الي يوجد فيها تداخل بين حزمها المملؤة جزئياً مواد موصلة كما في **الشكل 3–5**.

■ **الشكل 3–5** في المادة جيدة التوصيل، تكون حزمة التوصيل مملوءة جزئيًا. وتبين المنطقة المظللة بالأزرق منطقة الطاقة المشغولة بالإلكترونات.



الموصلات الكهربائية Conductors

عند تطبيق فرق جهد عبر مـــادة ما يؤثر المجال الكهربائي الناتج بقوة في الإلكترونات، فتتسارع وتكتسب طاقة، وبذلك يبذل المجال شغلاً عليها. وعندما تكون حزم التوصيل مملوءة جزئيا في المادة تكون هناك مســتويات طاقة متاحــة طاقتها أكبر قليلاً من طاقة الإلكترونات في مستويات الاســتقرار. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات التي اكتسبت طاقة من المجال الكهربائي يمكنها أن تتحرك من ذرة إلى الذرة التالية. وتســمى حركة الإلكترونات هذه التيار الكهربائي، وتعرف العملية كاملةً بالتوصيل الكهربائي. والمواد ذات الحزم المملوءة جزئيًا كالفلزات - ومنها الألومنيوم والرصاص والنحاس - توصل الكهرباء بسهولة.



■ **الشكل 4–5** تتحرك الإلكترونات في الموصل بسرعة وبصورة عشوائية. وإذا طبّق مجال كهربائي عبر السلك، فإن الإلكترونات تندفع نحو إحدى نهايتي السلك في اتجاه معاكس لاتجاه حركة التيار الاصطلاحي.

الحركة العشوائية تتحرك الإلكترونات في الموصلات بسرعة وبصورة عشوائية، حيث تتغيّر اتجاهاتها عندما تصطدم بالذرات. أما إذا طبّق مجال كهربائي على طول معين من ســلك فلزي فســتؤثر قوة محصلة تدفع الإلكترونات في اتجاه واحد. وعلى الرغم من أن حركتها لا تتأثر كثيرًا، إلا أنها تتحرك حركة بطيئة وموجهة بتأثير المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشــكل 4–5**. وتســتمر الإلكترونات في التحرك بسرعة $10^{6}\ m/s$ في اتجاهات عشــوائية، وتتحرك ببطء شديد بسرعة تساوي $10^{-5}\ m/s$ أو أقل في اتجاه النهاية الموجبة للســلك. ويسمى هذا النموذج من الموصلات نموذج إلكترون - غاز. وعندمــا ترتفع درجة الحــرارة تزداد ســرعة الإلكترونات، ومن ثم تــزداد تصادماتها بالذرات. لــذا فإنه عندما ترتفع درجة حرارة الفلز فــإن موصليته تقل. والموصلية هي مقلوب المقاومية، لذا كلما قلت موصلية المادة ازدادت مقاومتها.

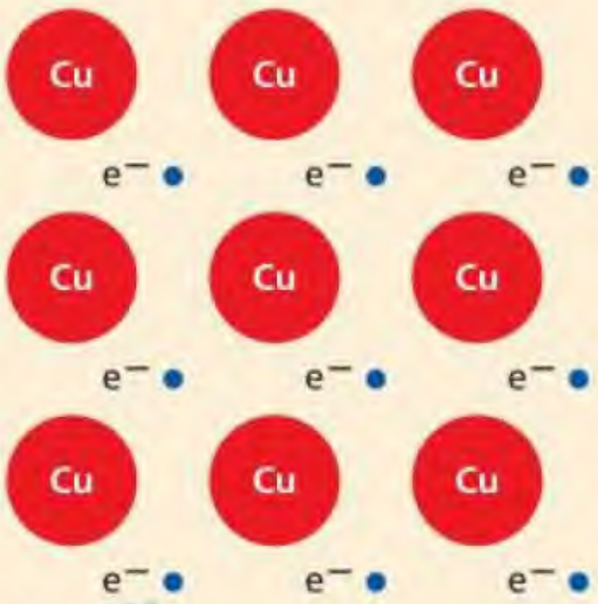
مثــال 1

كثافة الإلكترونات الحرة في موصل مـا عـدد الإلكترونات الحــرة في السنتمتر المكعب من النحـاس $(free\ e^{-}/cm^{3})$؟ علــما بأن كثافة النحاس $\rho = 8.96\ g/cm^{3}$، والكتلة الذرية للنحــاس $M = 63.54\ g/mol$، وعدد الذرات في كل مول نحاس $N_A = 6.02\times10^{23}\ atom/mol$ وأن كل ذرة تشارك بإلكترون واحد.

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم	المجهول
للنحاس: إلكترون حر واحد e^{-} في كل ذرة $\rho = 8.96\ g/cm^{3}$ $M = 63.54\ g/mol$ $N_A = 6.02\times10^{23}\ atom/mol$	$free\ e^{-}/cm^{3} = ?$



2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

حساب الوحدات.

بالتعويض

$$\frac{\text{free } e^-}{cm^3} = \frac{(\text{free } e^-)}{\text{atom}} (N_A)(\frac{1}{M})(\rho)$$

$$= (\frac{1 \text{ free } e^-}{1 \text{ atom}}) (\frac{6.02\times10^{23} \text{ atoms}}{1 \text{ mol}}) (\frac{1 \text{ mol}}{63.54 \text{ g}})(\frac{8.96 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3})$$

$$= 8.49\times10^{22} \text{ free } e^-/cm^3 \text{ في النحاس}$$

$\text{free } e^- / 1 \text{ atom} = 1 \text{ free } e^- / 1 \text{ atom}$

$N_A = 6.02\times10^{23} \text{ Atoms/mol}$

$M = 63.54 \text{ g/mol}$

$\rho = 8.96 \text{ g/cm}^3$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات على تحديد عدد الإلكترونات الحرة في كل cm^3 بدقة.
- **هل الجواب منطقي؟** يُتوقع وجود عدد كبير من الإلكترونات في cm^3.

مسائل تدريبية

1. إذا علمت أن كثافة عنصر الخارصين 7.13 g/cm^3 وكتلته الذرية 65.37 g/mol. وله إلكترونان حران في كل ذرة، فما عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الخارصين؟
2. إذا علمت أن هناك إلكترونًا حرًّا واحدًا في كل ذرة لعنصر الفضة فاستخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الفضة.
3. لعنصر الذهب إلكترون واحد حر في كل ذرة. استخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الذهب.
4. لعنصر الألومنيوم ثلاثة إلكترونات حرة في كل ذرة. استخدم ملحق كثافة المواد الشائعة وملحق الجدول الدوري، واحسب عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب من الألومنيوم.
5. صنعت قمة نصب تذكاري من 2835g من الألومنيوم. استخدم المسألة السابقة وحدد عدد الإلكترونات الحرة في قمة هذا النصب.

العوازل Insulators

تكون حزمة التكافؤ في المادة العازلة مملوءة، في حين تكون حزمة التوصيل فارغة، ويتعين أن يكتسب الإلكترون كمية كبيرة من الطاقة لكي ينتقل إلى مستوى الطاقة التالي. وفي العوازل يكون أدنى مستوى للطاقة في حزمة التوصيل فوق أعلى مستوى للطاقة في حزمة التكافؤ بمقدار 5–10 eV ، كما هو موضح في **الشكل 5a–5**. وتوجد في العوازل فجوات طاقة مقدارها 5 eV على الأقل، وهذه الطاقة ليست لدى الإلكترونات.

على الرغم من أن للإلكترونات بعض الطاقة الحركية الناتجة عن طاقتها الحرارية، إلا أن متوسط الطاقة الحركية للإلكترونات عند درجة حرارة الغرفة لا تكفيها لكي تقفز عن الفجوة الممنوعة. وإذا طبق مجال كهربائي صغير على عازل فإن الإلكترونات غالبًا لا تكتسب طاقة كافية للوصول إلى حزمة التوصيل، ولذلك لا يتولد تيار كهربائي. ولكي

تنتقل الإلكترونات إلى حزمة التوصيل في العازل فإنه يجب أن تزود هذه الإلكترونات بكميـــة كبيرة من الطاقة. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات في المادة العازلة تميل إلى أن تبقى في أماكنها، لذا فإن المادة العازلة لا توصل التيار الكهربائي.

أشباه الموصلات Semiconductors

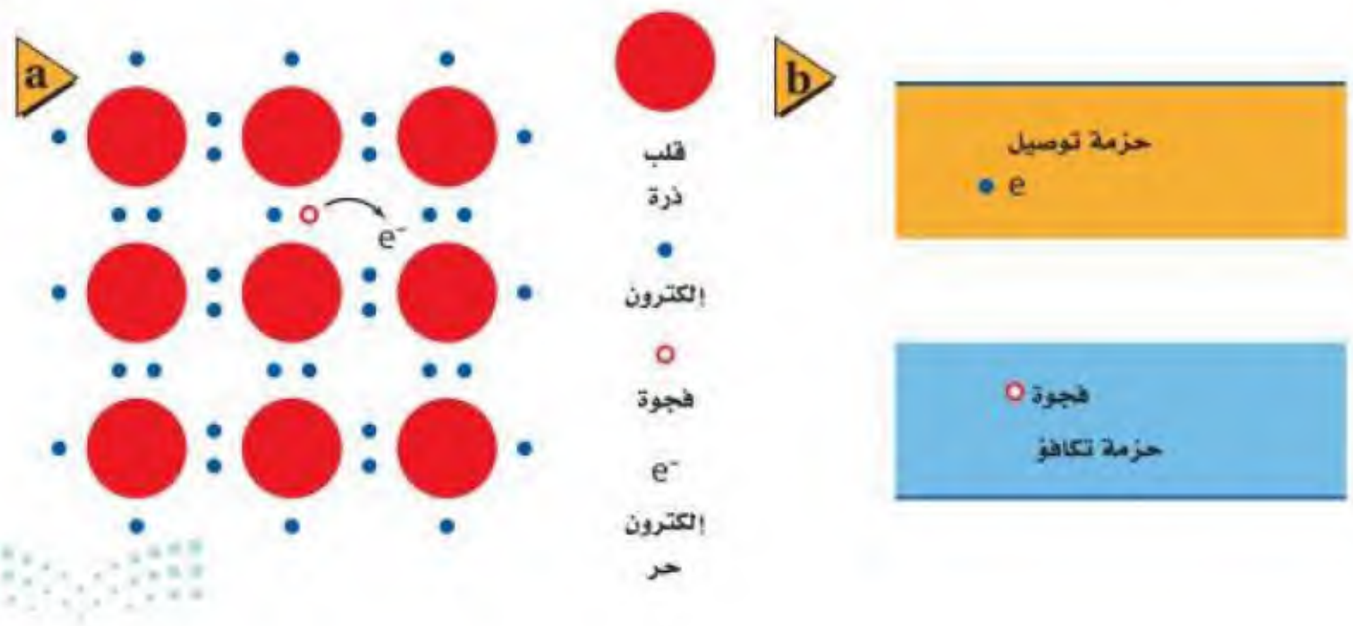
تتحـــرك الإلكترونـــات بحريـــة أكبر فـــي أشـــباه الموصـــلات مقارنـــة بحركتها في العـــوازل، ولكن حركتها ليســـت حـــرة كما في الموصـــلات. وكما هـــو موضح في **الشكل 5b–5**، فإن فجوة الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل تساوي 1 eV تقريبًا. كيف يفسّر تركيب أشباه الموصلات خصائصها الإلكترونية؟ لذرات أشباه الموصلات الأكثر شـــيوعًا كالســـليكون Si والجرمانيوم Ge أربعة إلكترونات تكافؤ. وتساهم هذه الإلكترونات الأربعة في ربط الذرات معًا في المادة الصلبة البلورية. وتشكل إلكترونات التكافؤ حزمة مملوءة، كمـــا في العوازل، في حين تكون الفجـــوة الممنوعة بين حزمة التكافـــؤ وحزمة التوصيل أصغر كثيرًا مقارنة بالعوازل. ولذلك فإنَّ نقل أحد إلكترونات ذرة السليكون ووضعه في حزمة التوصيل لا يحتاج إلى طاقة كبيرة، كما هو موضح في **الشـــكل 6a–5**. وتكون الفجوة صغيرة جدًّا، بحيث يمكن لبعض الإلكترونات أن تصل إلى حزمة التوصيل نتيجة لطاقتها الحركيـــة الحرارية وحدها فقط. ولذلك فإن الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات تزوّد بعض الإلكترونات بطاقة كافية للتحرر من ذراتها الأصلية وتتجول حول بلورة السليكون.



■ **الشكل 5–5** يقارن بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل في المادة العازلة (**a**) وفي المادة شبه الموصلة (**b**). قارن هذه الرسوم التوضيحية بالرسم التوضيحي في **الشكل 3–5**.

وإذا طبّق مجال كهربائي على مادة شـــبه موصلة فإن الإلكترونات الموجودة في حزمة التوصيل تتحرك خلال المادة الصلبة بحســـب اتجاه المجال الكهربائي المطبّق. وعلى النقيـــض من التأثير في الفلـــزّ، فإن زيادة درجة حرارة أشـــباه الموصلات يزيد من عدد الإلكترونات القادرة على الوصول إلى حزمة التوصيل، ومن ثم تزداد الموصلية.

عندمـــا يتحرر إلكترون من ذرة يترك مكانه فجوة. وكما هو موضح في **الشـــكل 6b–5**، فإن الفجوة عبارة عن مستوى طاقة فارغ في حزمة التكافؤ، و تصبح الشحنة الكلية للذرة موجبة. ويمكن لإلكترون موجود في حزمة التوصيل أن يقفز داخل هذه الفجوة ليصبح



■ **الشكل 6–5** لبعض الإلكترونات في أشباه الموصلات طاقة حركية حرارية كافية لكي تتحرر وتتجول خلال البلورة، كما هو موضح في التركيب البلوري (**a**) وفي الحزم (**b**).

مرتبطًـــا مع الذرة مرة أخرى. وعندما يعاد اتحاد الفجوة مع الإلكترون الحر فإن شـــحنتيهما المختلفتين تعادل كل منهما الأخرى.

غير أن الإلكترون ترك خلفه فجوة في موقعه السابق. لذا تتحرك الإلكترونات الحرة السالبة الشـــحنة في اتجاه واحد، في حين تتحرك الفجوات الموجبة الشحنة في الاتجاه المعاكس. وتسمى أشـــباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا **أشـــباهَ الموصلات النقية**. ولأن عددًا قليلاً جدًا مـــن الإلكترونات والفجوات متوافر لحمل الشـــحنة فإن التوصيل في أشباه الموصلات النقية منخفض جدًا، مما يجعل مقاوماتها كبيرة جدًا.

مثـــال 2

بعض الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية بسبب الطاقة الحركية الحرارية للسليكون الصلب عند درجة حرارة الغرفة، فإنه يوجد 1.45×10^{10} إلكترون حر في كل cm^3. ما عدد الإلكترونات الحرة في كل ذرة سليكون عند درجة حرارة الغرفة؟ علماً أن كثافة عنصر السليكون $2.33\ g/cm^3$، وكتلته الذرية $28.09\ g/mol$

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

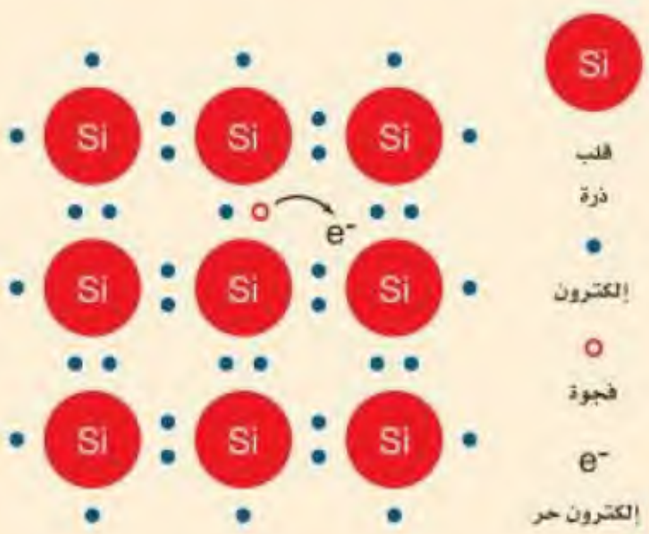
$M = 28.09\ g/mol$

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

للسليكون: $1.45\times10^{10}\ free\ e^-/cm^3$

المجهول

$free\ e^-/atom = \square$



دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بدلالاتها العلمية.

2 إيجاد الكمية المجهولة

$$\frac{free\ e^-}{atom} = \left(\frac{1}{N_A}\right)(M)\left(\frac{1}{\rho}\right)\left(1.45\times10^{10}\ \frac{free\ e^-}{cm^3}\ \text{للسليكون}\right)$$

$$= \left(\frac{1\ mol}{6.02\times10^{23}\ atoms}\right)\left(\frac{28.09\ g}{1\ mol}\right)\left(\frac{1\ cm^3}{2.33\ g}\right)\left(\frac{1.45\times10^{10}\ free\ e^-}{cm^3}\right)$$

$= 2.90\times10^{-13}\ free\ e^-\ /\ atom$ للسليكون

بالتعويض

$N_A = 6.02\times10^{23}\ atoms/mol$

$M = 28.09\ g/mol$

$\rho = 2.33\ g/cm^3$

$free\ e^-/cm^3\ Si = 1.45\times10^{10}\ free\ e^-/cm^3$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يؤكد تحليل الوحدات أن الوحدات صحيحة.
- **هل الجواب منطقي؟** في أشباه الموصلات النقية، كالسليكون مثلاً عند درجة حرارة الغرفة، يكون لعدد قليل جدًا من الذرات إلكترونات حرة.

مسائل تدريبية

6. كثافــة عنصر الجرمانيوم النقي $5.23\ g/cm^3$ وكتلته الذرية $72.6\ g/mol$. ويوجد فيه $2.25 \times 10^{13}\ free\ e^- / cm^3$ عند درجة حرارة الغرفة، ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة؟
7. لعنصر الســليكون $1.89 \times 10^5\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $200.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟ كم تكافئ درجة الحرارة هذه بالسلسيوس؟
8. لعنصر السليكون $9.23 \times 10^{-10}\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $100.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة ؟ كم تكافئ درجة الحرارة هذه بالسلسيوس؟
9. لعنصر الجرمانيوم $1.16 \times 10^{10}\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $200.0\ k$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة؟
10. لعنصر الجرمانيوم $3.47\ free\ e^- /cm^3$ عند درجة حرارة $100.0\ K$. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في كل ذرة عند هذه الدرجة ؟

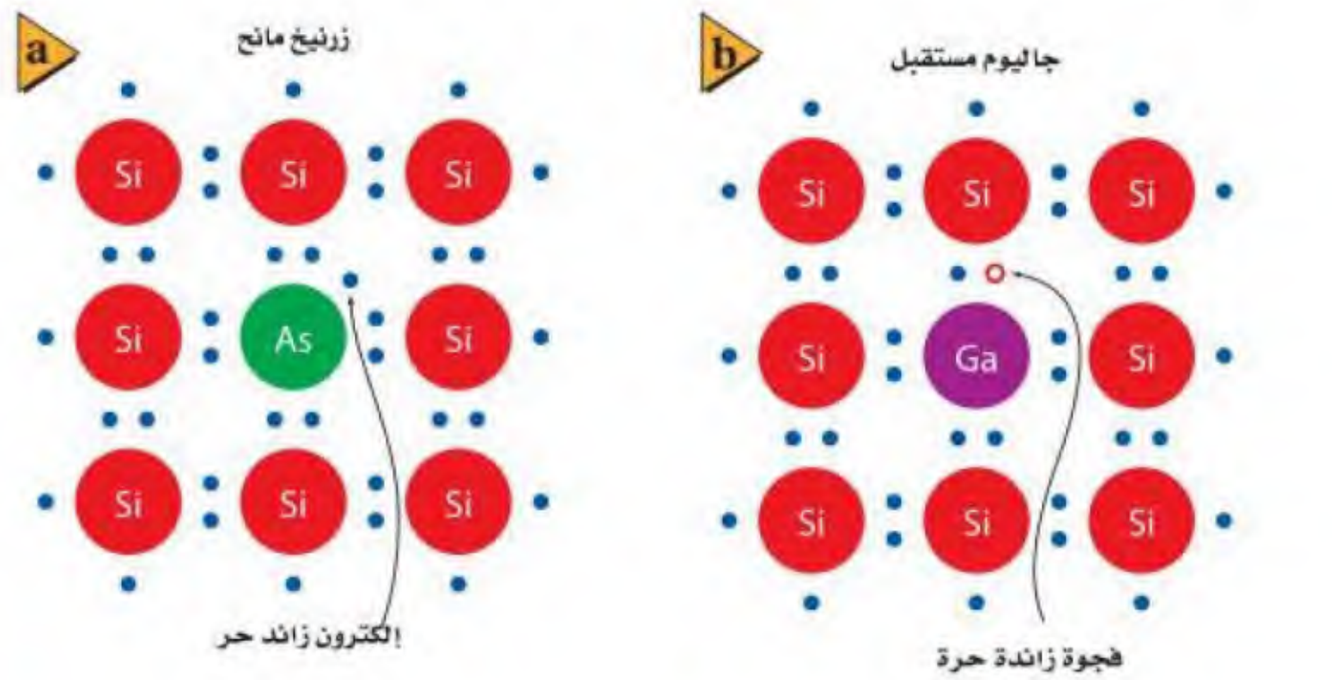
أشباه الموصلات المعالجة Doped Semiconductors

يجب أن تزداد موصلية أشباه الموصلات النقية بمقدار كبير من أجل صنع أدوات عملية. لذا تضاف ذرات مانحة أو مســتقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة إلى أشــباه الموصلات النقية تسمى **الشوائب**، تعمل على زيادة موصليتها، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية. وأشــباه الموصلات التي تعالج بإضافة شــوائب تسمى **أشباه الموصلات غير النقية (المعالج)**.

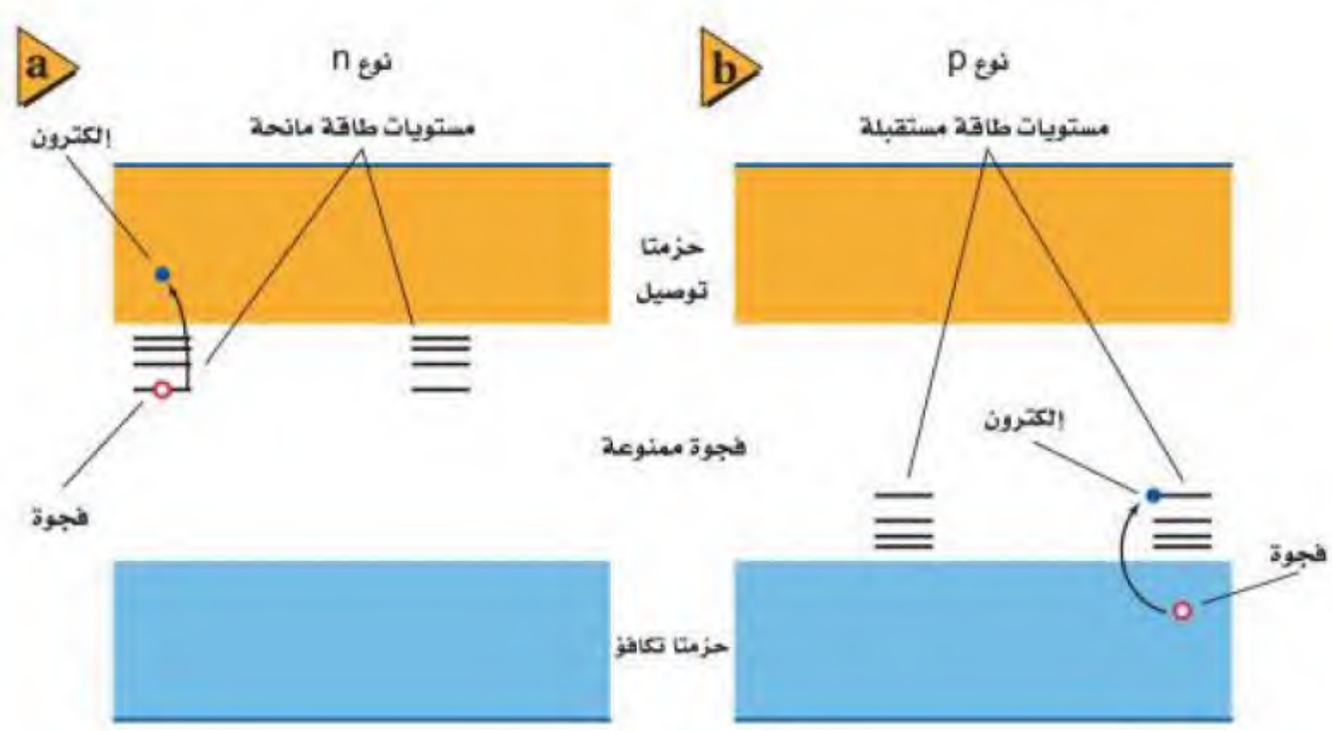
أشباه الموصلات من النوع السالب (n) إذا كانت المادة المانحة لإلكترون ما خماسـية التكافؤ كالزرنيخ As الذي يســتخدم في معالجة الســليكون، فإن الناتج يكون مادة شــبه موصلة من النوع السالب (n). ويوضح **الشكل 7a–5** الموقع الذي احتلته الذرة المعالجة As محل إحدى ذرات السليكون Si في بلورة السليكون. حيث ترتبط أربعة من إلكترونات التكافؤ الخمســة مع ذرات السليكون المجاورة. ويســمى الإلكترون الخامس لذرة As الإلكترون الحر. وتكون طاقة الإلكترون الحر قريبةً جدًّا من طاقة حزمة التوصيل، بحيث تكون الطاقة الحرارية كافية لنقل هذا الإلكترون بســهولة مــن الذرة المعالجة إلى حزمة التوصيل، كما هو موضح في **الشــكل 8a–5**. ويزداد توصيل أشباه الموصلات من النوع السالب (n) بتوافر عدد أكبر من هذه الإلكترونات المانحة وانتقالها إلى حزمة التوصيل.

أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) إذا كانت المادة المستقبلة لإلكترون ما ثلاثية التكافؤ كالجاليوم Ga الذي يستخدم في معالجة السليكون، فإن الناتج يكون مادة مادة شبه موصلة من النوع الموجب (p). وعندما تحل ذرة الجاليوم Ga محل ذرة السليكون Si في بلورة السليكون ترتبط إلكترونات التكافؤ الثلاثة مع ذرات السليكون المجاورة، وينقص إلكترون واحد، مما يُحدث فجوة في بلورة السليكون كما هو موضح في **الشكل 5–7b**. ويمكن للإلكترونات في حزمة التكافؤ أن تسقط بسهولة في هذه الفجوات، محدثةً فجوات جديدة. ومما يعزّز التوصيل في أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) وجود وفرة في الفجوات التي تنتجها ذرات المستقبل المعالج، كما موضح في **الشكل 5–8b**.

تكون كل من أشباه الموصلات من النوع p والنوع n متعادلة كهربائيًا. وإضافة ذرات معالجة من كلا النوعين لا تضيف أي شحنة محصلة إلى المادة شبه الموصلة. وكلا النوعين من أشباه الموصلات يستخدمان الإلكترونات والفجوات في عملية التوصيل. ولا يتطلب سوى القليل من الذرات المعالجة لكل مليون ذرة سليكون مثلاً لزيادة موصلية أشباه الموصلات بمعامل مقداره 1000 أو أكثر.



■ **الشكل 7–5** تحل ذرة الزرنيخ المانحة مع إلكترونات التكافؤ الخمسة الخاصة بها محل ذرة السليكون وتنتج إلكترونًا غير مرتبط في بلورة السليكون (**a**). وتنشئ ذرة الجاليوم المستقبلة مع إلكترونات التكافؤ الثلاثة الخاصة بها فجوة في البلورة (**b**).



■ **الشكل 8–5** في النوع n من أشباه الموصلات (**a**)، مستويات الطاقة المانحة الإلكترونات تضع الإلكترونات في حزمة التوصيل. في النوع p من أشباه الموصلات (**b**)، تُنتج مستويات طاقة المستقبل فجوات في حزمة التكافؤ.

المجسات الحرارية إن الموصلية الكهربائية لأشباه الموصلات النقية وغير النقية حساسة لكل من درجة الحرارة والضوء، وبعكس الفلزّات التي تنخفض موصليتها بارتفاع درجة حرارتها، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات تسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل، فتزداد الموصلية وتقل المقاومة. وقد صُمم جهاز شبه موصل سُمِّيَ المجس الحراري، بحيث تعتمد مقاومته بدرجة كبيرة على درجة الحرارة. ويمكن استخدام المجس الحراري مقياسًا حساسًا لدرجة الحرارة، وللكشف عن تغيرات درجة الحرارة للمكوّنات الأخرى للدائرة الكهربائية. ويمكن استخدامه أيضًا للكشف عن الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء والأنواع الأخرى من الإشعاع.

مقاييس الضوء تعتمد التطبيقات المفيدة الأخرى لأشباه الموصلات على حساسيتها للضوء. فعندما يسقط الضوء على المادة شبه الموصلة، فإنه يعمل على إثارة إلكترونات حزمة التكافؤ، فتنقل إلى حزمة التوصيل بالطريقة نفسها التي تعمل بها مصادر الطاقة الأخرى على إثارة الذرات. وبذلك تتناقص المقاومة مع زيادة شدة الضوء. ويمكن تصميم أشباه الموصلات المعالجة للاستجابة لأطوال موجية محددة من الضوء، ويتضمن ذلك مناطق الأشعة تحت الحمراء ومنطقة الضوء المرئي من الطيف. بالإضافة إلى ذلك، تعدّ بعض المواد كالسليكون وكبريتيد الكادميوم مقاومات يعتمد مقدارها على الضوء، وتستخدم في مقاييس الضوء التي يستخدمها مهندسو الإضاءة في إنارة المحال التجارية والمكاتب والمنازل، ويستخدمها أيضًا المصورون الفوتوجرافيون لتعديل آلات التصوير لالتقاط أفضل الصور.

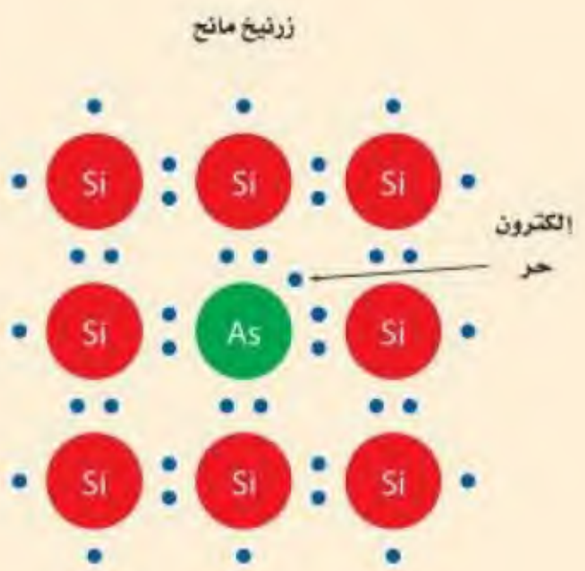
مثال 3

موصلية السليكون المُعالَج يعالج السليكون بفلزّ الزرنيخ، بحيث يُستبدل بذرة واحدة من كل مليون ذرة سليكون ذرة زرنيخ واحدة. وتمنح كل ذرة زرنيخ حزمة التوصيل إلكترونًا واحدًا.

a. ما عدد الإلكترونات الحرة في كل $cm3$؟

b. ما النسبة بين عدد الإلكترونات الحرة في السليكون غير النقي والسليكون النقي إذا علمت أن عددها للسليكون النقي 1.45×10^{10} free e^- / cm^3؟

c. هل يعتمد التوصيل على إلكترونات السليكون أم على إلكترونات الزرنيخ؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد القيم المعلومة والقيم المجهولة.

المعلوم	المجهول
1 As atom / 10^6 Si atoms	cm^3 / free e^- التي تمنح بواسطة الزرنيخ=؟
1 free e^-/As atom	عدد الإلكترونات الحرة التي يمنحها الزرنيخ بالنسبة إلى الإلكترونات الحرة في شبه الموصل النقي=؟
4.99×10^{22} Si atoms/cm^3	
1.45×10^{10} free e^- /cm^3	
في السليكون النقي	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. بالتعويض

$$\left(\frac{\text{free } e^-}{cm^3} \text{ من As}\right) = \left(\frac{\text{free } e^-}{\text{As atom}}\right)\left(\frac{\text{As atoms}}{\text{Si atoms}}\right)\left(\frac{\text{Si atoms}}{cm^3}\right)$$

$$\left(\frac{\text{free } e^-}{cm^3}\right) = \left(\frac{1 \text{ free } e^-}{1 \text{ As atmos}}\right)\left(\frac{1 \text{ As atom}}{1\times10^6 \text{ Si atoms}}\right)\left(\frac{4.99\times10^{22} \text{ Si atoms}}{cm^3}\right)$$

$$= 4.99 \times 10^{16} \text{ free } e^- / cm^3$$

free e^- / As atom

= 1 free e^- / 1 As atom

As atoms / Si atoms

= 1 As atom/1×10^6 Si atoms

Si atoms/cm^3

= 4.99×10^{22} Si atoms/cm^3

b.

$$\text{النسبة} = \left(\frac{\text{في Si المعالج } \text{free } e^- / cm^3}{\text{في Si النقي } \text{free } e^- / cm^3}\right)$$

$$= \left(\frac{\text{في Si المعالج } 4.99\times10^{16} \text{ free } e^- / cm^3}{\text{في Si النقي } 1.45\times10^{10} \text{ free } e^- / cm^3}\right)$$

$$= 3.44\times10^6$$

بالتعويض 4.99×10^{16} free e^- /cm^3 في Si المعالج

1.45×10^{10} free e^- /cm^3 في Si النقي

c. التوصيل أساسه إلكترونات الزرنيخ المانحة بسبب وجود أكثر من ثلاثة ملايين إلكترون زرنيخ مقابل كل إلكترون موجود أصلًا.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** التحليل يؤكد صحة الوحدات.
- **هل الجواب منطقي؟** النسبة كبيرة بدرجة كافية، بحيث إن الإلكترونات الموجودة أصلاً لا تساهم تقريبًا في الموصلية.

مسائل تدريبية

11. إذا أردت الحصول على 1×10^4 من إلكترونات الزرنيخ المعالج كإلكترونات حرة في السليكون عند درجة حرارة الغرفة، فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة سليكون؟

12. إذا أردت الحصول على 5×10^3 من إلكترونات الزرنيخ المعالج بوصفها إلكترونات حرة في الجرمانيوم شبه الموصل الذي وصف في المسألة 6 فما عدد ذرات الزرنيخ التي يجب أن توجد لكل ذرة جرمانيوم؟

13. للجرمانيوم 1.13×10^{15} ناقل حراري حر في كل cm^3 عند درجة حرارة 400.0 K. إذا عولج الجرمانيوم بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة جرمانيوم، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

14. للسليكون 4.54×10^{12} ناقل حراري حر في كل cm^3 عند درجة حرارة 400.0 k. إذا عولج السليكون بواسطة ذرة زرنيخ واحدة لكل مليون ذرة سليكون، فما نسبة الناقلات المعالجة إلى الناقلات الحرارية؟

15. في السؤال 14 كيف تتوقع أن يكون سلوك الأدوات المصنوعة من الجرمانيوم مقارنة بتلك المصنوعة من السليكون عند درجات حرارة تزيد على درجة حرارة غليان الماء؟

1–5 مراجعة

16. **حركة الناقل** في آي المواد الموصلة أو شبه الموصلة أو العوازل يُرجّح أن تبقى الإلكترونات في الذرة نفسها؟

17. **أشباه الموصلات** إذا زادت درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية. فمثلاً زيادة درجة الحرارة بمقدار درجات سيليزية (8 °C) يضاعف عدد الإلكترونات الحرة في السليكون. فهل المرجح أن تعتمد موصلية الموصل النقي، أم شبه الموصل غير النقي، على درجة الحرارة؟ وضح إجابتك.

18. **عازل أم موصل؟** يستخدم ثاني أكسيد السليكون على نطاق واسع في صناعة أدوات الحالة الصلبة. ويبيّن مخطط حزم الطاقة الخاص به فجوة طاقة بمقدار 9 eV بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل. فهل ثاني أكسيد السليكون مفيد أكثر بوصفه عازلًا أم موصلًا؟

19. **موصل أم عازل؟** لأكسيد الماغنسيوم فجوة ممنوعة مقدارها 8 eV. فهل هذه المادة موصلة أم عازلة أم شبه موصلة؟

20. **أشباه الموصلات النقية وغير النقية** إذا كنت تصمم دائرة متكاملة باستخدام بلورة سليكون، وأردت أن تحصل على منطقة ذات خصائص عازلة جيدة نسبيًّا، فهل يجب أن تعالج هذه المنطقة أم تتركها بوصفها شبه موصل نقي؟

21. **التفكير الناقد** يتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها السليكون عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8 °C ، ويتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها الجرمانيوم عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C. يبدو أن الجرمانيوم أفضل للتطبيقات ذات درجة الحرارة الكبيرة، ولكن العكس هو الصحيح. وضح ذلك.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic Devices

تعتمد الأجهزة الإلكترونية في عصرنا الحاضر – ومنها الهاتف الذكي والتلفاز ومشغلات ألعاب الفيديو والحواسيب الصغيرة – على أدوات مصنوعة من أشباه الموصلات، تتجمع في رقائق من السليكون لا يتجاوز عرضها بضعة ملمترات. وفي هذه الأدوات يتغير كل من التيار والجهد بطرائق أكثر تعقيدًا عما وصف قانون أوم.

الأهداف

- تصف كيف يعمل الدايود على جعل التيارالكهربائي يسري في اتجاه واحد فقط.
- توضح كيف يمكن للترانزستور العمل على زيادة أو تضخيم تغيرات الجهد.

المفردات

الدايود

طبقة النضوب

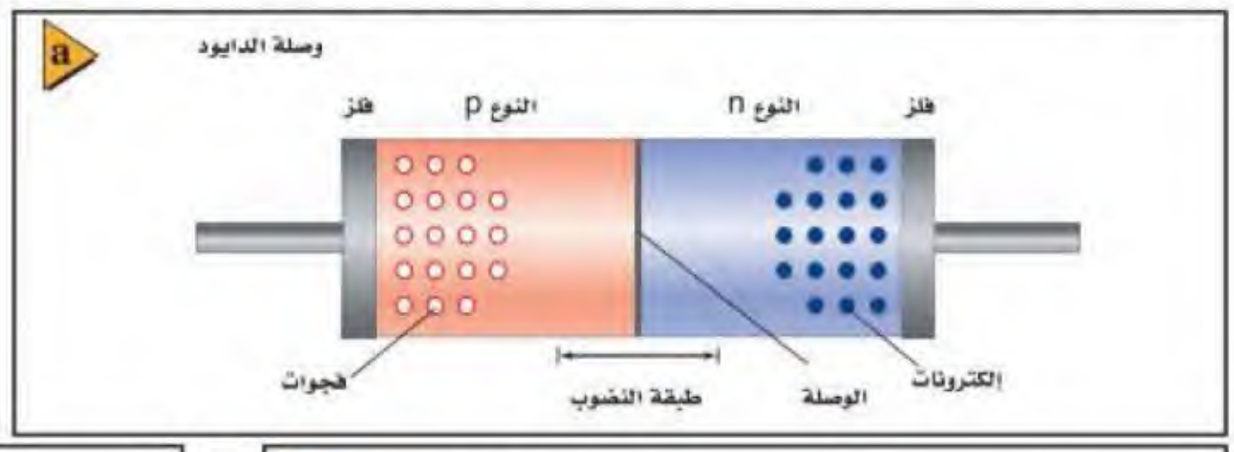
الترانزستور

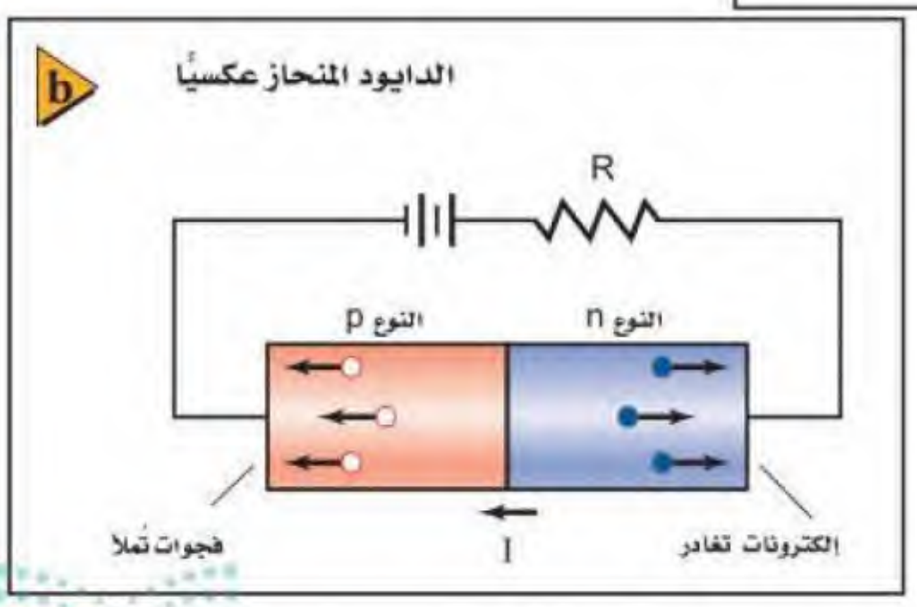
رقاقة ميكروية

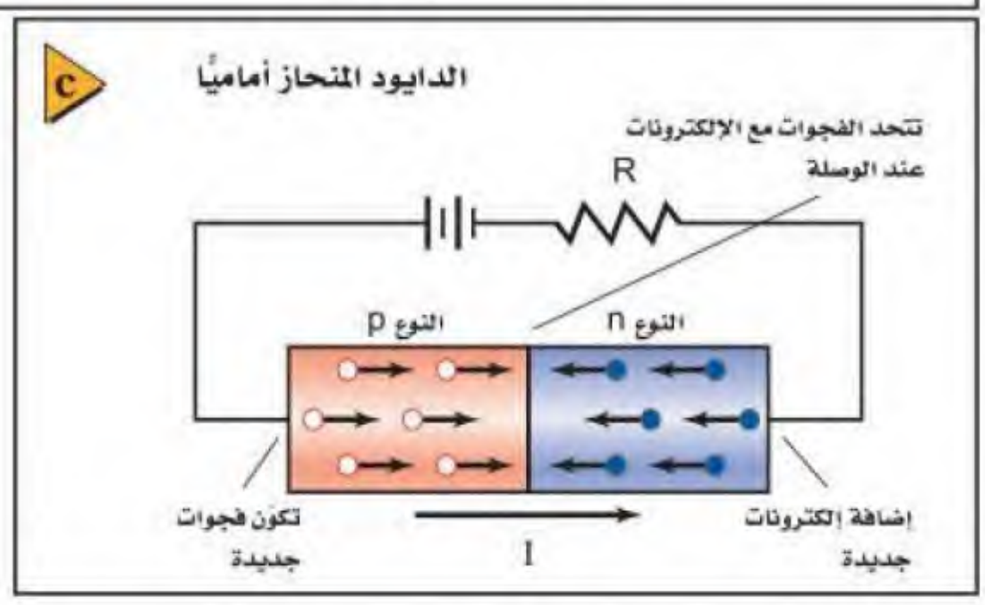
الدايودات Diodes

يعد **الدايود** (الوصلة الثنائية أو الصمام الثنائي) أبسط الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات. وهو يتكوّن من قطعة صغيرة من مادة شبه موصلة من النوع p موصولة بقطعة أخرى من النوع n. وبدلاً من استخدام قطعتين منفصلتين من السليكون المعالج، ومن ثم وصلهما معًا، تؤخذ عينة واحدة من السليكون النقي ثم تُعالج أولاً بالمعالج p، ومن ثم تعالج بالمعالج n. وتُطلى منطقة الوصل الفلزّية في كل منطقة، بحيث يمكن وصل الأسلاك بها، كما هو موضح في **الشكل 9a–5**. ويطلق على الحد الفاصل بين شبه الموصل من نوع p وشبه الموصل من نوع n بالوصلة، لذا تسمى الأداة الناتجة بالدايود نوع pn.

تنجذب الإلكترونات الحرة في الطرف n من الوصلة نحو الفجوات الموجبة في الطرف p، حيث تتحرك الإلكترونات بسهولة إلى المنطقة p وتتحد مع الفجوات. وبطريقة مماثلة تتحرك الفجوات من الطرف p إلى المنطقة n، حيث تتحد مع الإلكترونات، ونتيجة لهذا التدفق يكون للمنطقة n شحنة كلية موجبة، بينما يكون للمنطقة p شحنة كلية سالبة.







■ **الشكل 9–5** الرسم التوضيحي لدايود نوع pn (a) يوضح أن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات للشحنة. قارن مقدار التيار في كل من الدايود المنحاز عكسيًا (b) والدايود المنحاز أماميًا (c).

وتنتج هذه الشحنات قوى في الاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى توقف حركة المزيد من ناقلات الشـــحنة. وتترك المنطقة المحيطة بالطبقة الفاصلة دون فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة، لذلك تسمى **طبقة النضوب**. ولأن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات الشحنة، فإنها تعدّ رديئة التوصيل للكهرباء ولذلك، يتكون الدايود من موصلين جيدي التوصيل نسبيًّا عند الطرفين بينهما منطقة رديئة التوصيل.

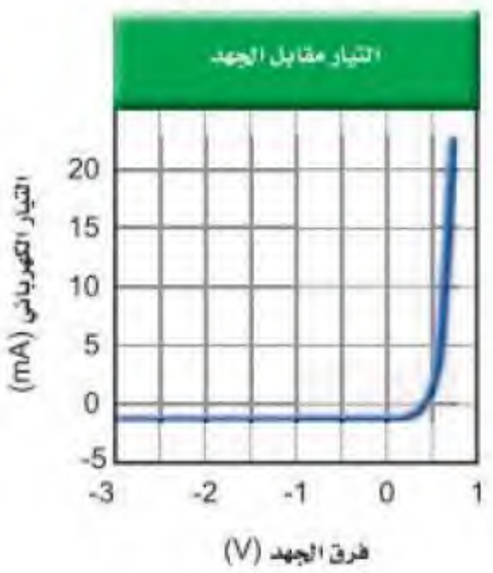
عندما يوصل الدايود في الدائرة الكهربائية بالطريقة الموضحة في **الشـــكل 9b–5**، فإن كلاًّ من الإلكترونات الحرة في المادة شـــبه الموصلة من النوع n والفجوات في المادة شـــبه الموصلة من النوع p تنجـــذب نحو البطارية، فيزداد عـــرض طبقة النضوب، ولا تتلاقى ناقلات الشـــحنة. ويكاد لا يمرّ تيار كهربائي من خـــلال الدايود، لذا فإنه يعمل عمل مقاوم كبير جدًّا. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز عكسيًّا.

أمـــا إذا عكس طرفي وصلـــة الدايود أو عكس اتجاه توصيـــل البطارية، كما موضح في **الشكل 9c–5** ، فإن ناقلات الشحنة تُدفع في اتجاه طبقة النضوب. وإذا كان جهد البطارية كبيرًا بدرجة كافية – 0.7 V عند اســـتعمال دايود السليكون – فإن الإلكترونات تصل إلى الطـــرف p وتملأ الفجوات. وتضمحل طبقـــة النضوب، ويعبر التيار مـــن خلال الدايود. وتســـتمر البطارية في تزويد الطرف n بالإلكترونات. وتزيل الإلكترونات من الطرف p، وبذلك تعمل البطارية عمل مزوّد للفجوات. وبزيـــادة متواصلة في الجهد من البطارية يزداد التيار. ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز أماميًّا.

يبين الرسم البياني الموضح في **الشكل 10–5** التيار الكهربائي المارّ في دايود السليكون كدالّة رياضية في الجهد المطبق عليه. فإذا كان الجهد المطبق عليه ســـالبًا، فإن الدايود المنحاز عكســـيًّا يعمل عمل مقاومة ذات مقدار كبير جـــدًّا، ووفقًا لذلك يمرّ تيار صغير جدًّا فقط (10^{-11} A تقريبًا لدايود السليكون).

وإذا كان الجهـــد موجبًا فإن الدايـــود يكون منحازًا أماميًّا، ويعمـــل عمل مقاوم صغير، وعلى الرغم من ذلك فإن الدايود لا يحقق قانون أوم. إن إحدى الاستخدامات الرئيسة للدايود هـــي تحويل الجهد المتناوب AC إلى جهد مســـتمر DC بقطبيـــة واحدة فقط. وعندما يســـتخدم الدايود في دائرة كهربائية تقوم بهذه الوظيفة، فعندئذ تســـمى المقوّم. ويبين السهم المرســـوم على رمز الدايود – والذي ستشاهده في المثال 4 – اتجاه التيار الاصطلاحي.

■ **الشـكل 10–5 يشير الرسم البياني إلى خصائص التيار – الجهد لوصلة دايود مصنوع من السليكون.**

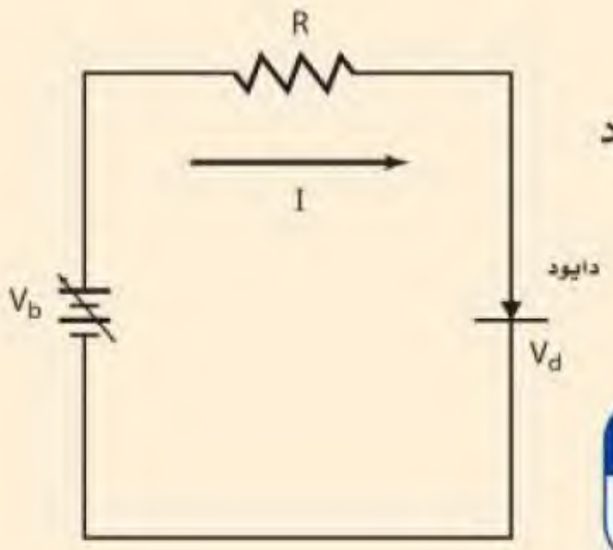


مثـــال 4

دايود في دائرة كهربائية بسيطة دايود مصنوع من السليكون له خصائص I /V موضحة في الشكل 9-5، وموصول بمصدر قدرة ومقاوم مقداره 470 Ω. إذا عمل مصدر القدرة على انحياز الدايود إلى الأمام، وعُدّل جهده حتى أصبح التيار المار في الدايود 12 mA. فما مقدار جهد مصدر القدرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًّا للدائرة الكهربائية التي وصل بها الدايود والمقاومة 470 Ω ومصدر القدرة. ثم بيّن اتجاه التيار.



المعلوم	المجهول
$I = 0.012\ A$	$V_b = ?$
$V_d = 0.70\ V$ (من الشكل)	
$R = 470\ \Omega$	

دليل الرياضيات
ترتيب العمليات.

2 إيجاد الكمية المجهولة

يُعطي الهبوط في الجهد عبر المقاوم من خلال المعادلة V = IR، وجهد مصدر القدرة يساوي مجموع الهبوط في الجهد في المقاوم والدايود.

$$V_b = IR + V_d$$

بالتعويض $I = 0.012\ A$ ،$R = 470\ \Omega$ ،$V_d = 0.70\ V$

$$= (0.012\ A)\ (470\ \Omega) + 0.70V$$

$$= 6.3\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** فرق جهد مصدر القدرة مقيس بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** تتفق مع التيار والمقاومة.

مسائل تدريبية

22. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره 2.5 mA في الدايود الوارد في المثال 4؟
23. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي مقداره 2.5 mA إذا وصل دايود آخر مماثل على التوالي مع الدايود الوارد في المثال 4؟
24. صف كيف يجب أن يوصل الدايودان معًا في المسألة السابقة؟
25. صف ما يحدث في المسألة 23 إذا وصل الدايودان على التوالي في اتجاه غير صحيح.
26. يبلغ مقدار الهبوط في الجهد للدايود المصنوع من الجرمانيوم 0.40 V عند مرور تيار كهربائي مقداره 12 mA خلاله. فإذا وصل مقاوم مقداره 470 Ω على التوالي مع الدايود فما جهد البطارية اللازم؟



فاز ثلاثة علماء يابانيين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2014 لاختراعهم الصمام الثنائي الباعث للضوء الأزرق LED.

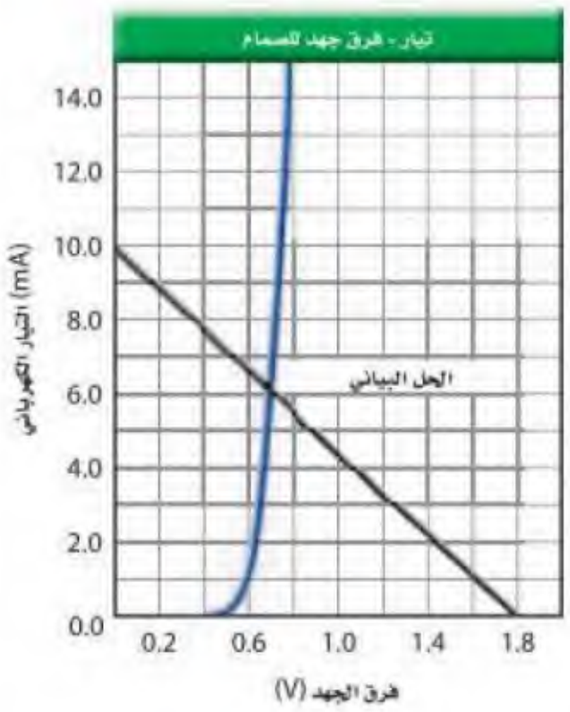
الدايودات المشعة للضوء تبعث الدايـودات المصنوعة من مزيج الجاليوم والألومنيوم مع الزرنيخ والفوسـفور ضوءًا عندما تكون منحازة أماميًّـا. فعندما تصل الإلكترونات إلى الفجـوات في الوصلة فإنهـا تتحد معًا مجددًا، وتطلق الطاقـة الفائضة على هيئة ضوء بأطوال موجية محددة. وتعرف هذه الدايودات بالدايودات المشـعة للضوء، أو LED أو LEDs. وقد شكلت بعض الدايودات المشعة للضوء لتبعث حزمة ضيقة من ضوء الليزر المترابط الأحادي اللون. وتُعد دايودات الليزر هذه مصادر قوية للضوء، وتسـتخدم في مشغلات الأقراص المدمجة CD ومؤشـرات الليزر وفي الماسحات الضوئية لأشرطة الترميز المسـتخدمة في الأسـواق التجارية الموضحة في **الشكل 11–5** كما وتستخدم في شاشـات التلفاز الحديثة والإضاءة وغيرها من الاسـتخدامات الواسـعة. ويمكن للدايودات استشعار الضوء والكشف عنه، مثل قدرتها على بعثه. والضوء الساقط على وصلة الدايود من النوع pn المنحاز عكسيًّا يحرّر إلكترونات ويكوّن فجوات، مما يؤدي إلى سريان تيار كهربائي يعتمد على شدة الضوء الساقط.



■ **الشكل 11–5** تعمل صمامات الليزر عمل باعثات للضوء، وكاشفات لأشرطة الترميز.

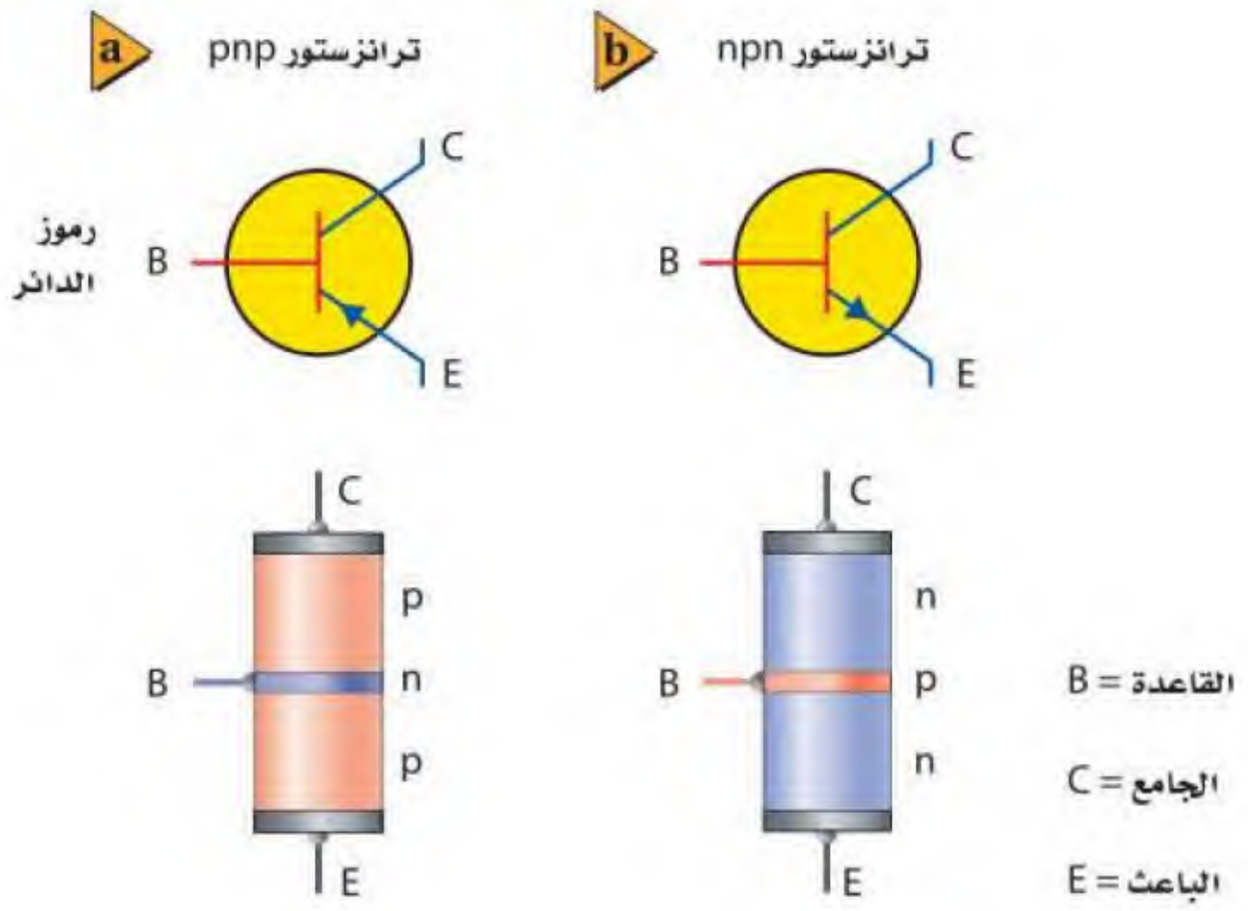
مسألة تحفيز

يسـتخدم التقريب في كثير من الأحيان في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على الصمامات الثنائية، وذلك لأن مقاومة الصمام غيـر ثابتة. ويتم التقريب الأول في دوائر الصمامـات عند تجاهل هبوط الجهد المنحاز إلى الأمـام عبر الصمام. والتقريب الثاني يأخذ في الحسـبان القيمة النموذجية لهبوط جهد الصمام. أما التقريب الثالث فيسـتخدم المعلومات الإضافية الخاصة بالصمامات الثنائيـة. وكما هو موضح في الرسـم البياني، فإن المنحنى يمثّل خصائص منحنى التيار–الجهد للصمام. ويوضح الخط المسـتقيم ظروف التيار–الجهد لجميع حالات هبوط الجهد الممكنة للصمام لدائـرة مقاومة مقدارهـا $180\ \Omega$ وبطارية جهدها $1.8\ V$ وصمـام ثنائي، وهبوط صفري لجهد الصمـام وتيار مقداره $10.0\ mA$ عند إحـدى النهايات حتى هبوط مقداره $1.8\ V$، وتيار مقداره $0.0\ mA$ عند النهاية الأخرى.



اسـتخدم دائرة الصمام في المثال 4 على أن تكـون $V_b = 1.8\ V$، ولكن مع مقاومة مقدارها $R = 180\ \Omega$.

1. حدد تيار الصمام الثنائي مستخدمًا التقريب الأول.
2. حدد تيار الصمام الثنائي مسـتخدمًا التقريب الثاني، وافترض هبوط جهد مقداره $0.70\ V$ للصمام.
3. حدد تيار الصمام الثنائي مستخدمًا التقريب الثالث، وذلك باستخدام الرسم البياني المرافق للصمام.
4. قدّر الخطأ لكل من التقريبات الثلاثة، وتجاهل البطارية والمقاومة. ثم ناقش أثر الجهود الكبيرة للبطارية في الأخطاء.



■ **الشكل 12–5** يُقارن بين رمزي الدائرتين الكهربائيتين المستخدمتين لتمثيل ترانزستور pnp(**a**). وترانزستور npn(**b**).

تطبيق الفيزياء

دايود الليزر يبعث دايود الليزر المثالي الضوء بطول موجي مقداره 800 nm، والذي يعدّ قريبًا من الأشعة تحت الحمراء. فيخرج الشعاع من بقعة صغيرة في رقاقة GaAlAs. وعندما يزوّد الدايود بتيار مقداره 80 mA، يحدث فيه هبوط جهد أمامي مقداره 2 V. وتستخدم دايودات الليزر عادة في الإرسال عبر الألياف البصرية.

الترانزستورات والدوائر المتكاملة
Transistors and Integrated Circuits

يعدّ **الترانزستور** أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة؛ حيث يتكون ترانزستور npn من طبقتين من مادة شبه موصلة من النوع n على طرفي طبقة رقيقة مصنوعة من مادة شبه موصلة أيضًا من النوع p. وتسمى هذه الطبقة المركزية القاعدة، أما الطبقتان الأخريان فتسمى إحداهما الباعث، والأخرى الجامع. ويوضح **الشكل 12–5** الرسمين التخطيطيين لنوعي الترانزستور، ويوضح السهم المرسوم على الباعث اتجاه التيار الاصطلاحي.

يوضح **الشكل 13–5** طريقة عمل ترانزستور npn. ويمكن اعتبار وصلتي pn في الترانزستور تشكيلًا مبدئيًا لدايودين موصولين معًا بصورة عكسية. وتعمل البطارية الموضوعة على اليمين V_C على إبقاء الجامع ذي شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث. ويكون الدايود الموجود بين القاعدة والجامع منحازًا عكسيًا، وتكون طبقة النضوب عريضة، ولذلك لا يسري تيار من الجامع إلى القاعدة. وعندما توصل البطارية الموضوعة عن يسار V_B تكون القاعدة ذات شحنة موجبة أكبر من شحنة الباعث، هذا من شأنه أن يجعل الدايود الموجود بين القاعدة والباعث منحازًا أماميًا، فيؤدي ذلك إلى السماح للتيار I_B بالمرور من القاعدة إلى الباعث.

إن القاعدة الرقيقة جدًّا جزء من كلا الدايودين في الترانزستور. يقلل تدفق الشحنات بواسطة التيار I_B من الانحياز العكسي للدايود الذي بين القاعدة والجامع، بحيث يسمح للشحنة بالتدفق من الجامع إلى الباعث. لذا يُنتج التغير القليل في التيار I_B تغيرًا كبيرًا في التيار I_C.

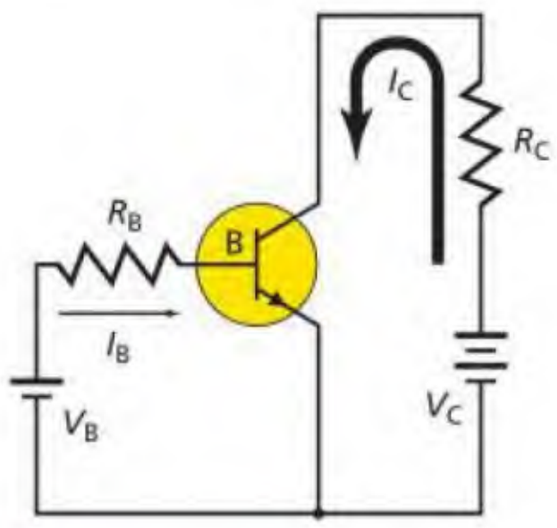
يسبب تيار الجامع هبوطًا في الجهد عبر المقاوم R_C. وتنتج التغيرات الصغيرة في الجهد V_B

تجربة عملية

كيف يمكن لجهاز الحاسوب اتخاذ القرارات؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

■ **الشكل 13–5** تُظهر الدائرة التي تستخدم ترانزستور npn كيف يمكن تضخيم الجهد.



المطبّق على القاعدة تغيرات كبيرة في تيار الجامع، مما يؤدي إلى تغيرات في الهبوط في الجهد عبر المقاوم R_C. ونتيجة لذلك فإن الترانزستور يضخّم تغيرات الجهد الصغيرة إلى تغيرات أكبر كثيرًا. وإذا كانت الطبقة المركزية مصنوعة من مادة شبه موصلة من النوع n فإن الأداة عندئذ تسمى ترانزستور pnp. ويعمل هذا الترانزستور بطريقة مماثلة لطريقة عمل ترانزستور npn، إلا أن قطبي كل من البطاريتين معكوسان.

كسب التيار يعدّ كسب التيار من دائرة القاعدة إلى دائرة الجامع مؤشرًا مفيدًا على أداء الترانزستور. وعلى الرغم من أن تيار القاعدة صغير جدًّا إلا أنه يعتمد على جهد القاعدة-الباعث الذي يتحكم في تيار الجامع. فمثلاً، إذا أزيل الجهد V_B في **الشكل 12-5**، فسوف يهبط تيار الجامع إلى الصفر. وإذا ازداد الجهد V_B ازداد تيار القاعدة I_B، وازداد أيضًا تيار الجامع I_C ولكن بصورة كبيرة (من المحتمل أن يزيد 100 مرة أو أكثر). يتراوح مدى كسب التيار من القاعدة إلى الجامع من 50 إلى 300 للاستخدامات العامة للترانزستورات.

في جهاز التسجيل، تُضخَّم التغيرات الصغيرة في الجهد الحثي في الملف الناتجة عن المناطق الممغنطة الموجودة على الشريط؛ لتحريك ملف السماعة. وفي الحواسيب يمكن للتيارات الصغيرة في دوائر القاعدة-الباعث تشغيل وإيقاف التيارات الكبيرة في دوائر الجامع-الباعث. وبالإضافة إلى ذلك يمكن وصل العديد من الترانزستورات معًا لتنفيذ عمليات منطقية، أو لإضافة أرقام معًا. في هذه الحالات تعمل الترانزستورات عمل مفاتيح تحكم سريعة الأداء بدلاً من عملها مضخمات.

الرقائق الميكروية دوائر متكاملة يسمّى كل منها **رقاقة ميكروية** تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات، وطول كل منها لا يتجاوز الميكرومتر الواحد. ويمكن صناعة كل هذه المكوّنات بمعالجة السليكون وتشويبه (إضافة شوائب) بذرات مانحة أو مستقبلة. إن الحجم الصغير للرقائق الميكروية الموضحة في **الشكل 14-5** يسمح بوضع الدوائر المعقدة في مساحة صغيرة. ولأن الإشارات الإلكترونية تنتقل خلال مسافات قصيرة جدًّا فقد زاد هذا من سرعة الحواسيب. وتستخدم الرقائق الآن في الأجهزة الكهربائية وفي السيارات، كما تستخدم في الحواسيب.

تتطلب إلكترونيات أشباه الموصلات عمل الفيزيائيين والكيميائيين والمهندسين معًا في فريق واحد؛ حيث يساهم الفيزيائيون بمعرفتهم لحركة الإلكترونات والفجوات في

تجربة

الضوء الأحمر

ركّب دائرة كهربائية تحتوي على مصدر قدرة مستمر DC ومقاوم مقداره 470 Ω ودايود مشع للضوء الأحمر متصلة معا على التوالي. صل السلك القصير الخاص بالدايود الباعث للضوء مع القطب السالب لمصدر القدرة الموصول بمقبس GFCI المحمي. ثم صل السلك الآخر الخاص بالدايود بالمقاوم. ثم صل الطرف الآخر للمقاوم مع القطب الموجب لمصدر القدرة، ثم زد الجهد بالتدريج حتى يبدأ الدايود المشع للضوء في التوهج.

لاحظ قراءة الجهد على مصدر القدرة.

1. ضع فرضية حول ما يحدث إذا عكست اتجاه التيار.
2. جرّب عن طريق عكس التوصيلات مع البطارية.

التحليل والاستنتاج

3. وضح ملاحظاتك بدلالة خصائص الدايود المشع للضوء.



الشكل 14–5 تشكل الرقائق الميكروية قلب وحدة المعالجة المركزية في أجهزة الحاسوب.

أشـــباه الموصلات. ويعمل الفيزيائيون والكيميائيون معًا على إضافة كميات مضبوطة ودقيقة من المعالجات (الشوائب) إلى السليكون ذي النقاوة الكبيرة. ويطوّر المهندسون وسائل إنتاج الرقائق التي تحتوي على الآلاف من الدايودات والترانزستورات المصغّرة. وبتكاثف جهودهم معًا استطاعوا نقل عالمنا هذا إلى العصر الإلكتروني.

2–5 مراجعة

27. **دائرة الترانزستور** تيار الباعث في دائرة الترانزستور يســاوي دائـمًا مجموع تيــاري القاعــدة والجامع: $I_E=I_B+I_C$. فإذا كان كسب التيار من القاعدة إلى الجامع يساوي 95، فما النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة؟

28. **هبوط جهد الدايود** إذا كان الدايود في **الشــكل 9–5** منحازًا إلى الأمام بواسطة بطارية ومقاوم موصول معه على التوالي، وتكوّن تيار يزيد على 10 mA، وهبوط في الجهــد دائمًا 0.70 V تقريبًا - افترض أن جهد البطارية زاد بمقدار 1 V - احسب:
a. مقدار الزيادة في الجهد عبر الدايود أو الجهد عبر المقاوم.
b. مقدار الزيادة في التيار المارّ في المقاوم.

29. **مقاومة الدايود** قارن بين مقــداري مقاومة الدايود نوع pn عندمــا يكون منحــازًا إلى الأمــام وعندما يكون منحازًا عكسيًّا.

30. **قطبية الدايود** في الدايود المشع للضوء، ما الطرف الذي يجب أن يوصل مع الطرف p لجعل الدايود يضيء؟

31. **كسب التيار** إذا قيس تيار القاعدة في دائرة الترانزســتور فكان 55 μA، وكان تيار الجامع 6.6 mA، فاحســب مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع.

32. **التفكير الناقد** هل يمكن أن تســتبدل ترانزستور npn بدايودين منفصلين يوصــلان معًا من الطرف p لكل منهما؟ وضح إجابتك.

مختبر الفيزياء

تيار الدايود وجهده

تصنع أدوات أشباه الموصلات كالدايودات والترانزستورات باستخدام شبه موصل مصنوع من مادة من النوع p ومادة من النوع n. وتسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بالذرات المانحة شبهَ الموصل من النوع n، في حين تسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بعنصر يترك فجوات في بنية الشبكة البلورية شبهَ موصل من النوع p. يصنع الدايود بمعالجة المناطق المتجاورة في شبه الموصل بذرات المانح والمستقبل، مكوّنًا وصلة pn. ستستقصي في هذه التجربة خصائص جهد وتيار الدايود.

سؤال التجربة

كيف تقارن بين خصائص التيار-الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء ومقاوم؟

الأهداف

- تجمع وتنظم بيانات الهبوط في الجهد والتيار لكل من الدايود والدايود المشع للضوء.
- تقيس التيار المارّ عبر الدايود والدايود المشع للضوء كدالّة رياضية في الهبوط في الجهد.
- تقارن خصائص التيار-الجهد لمقاوم مع دايودات.

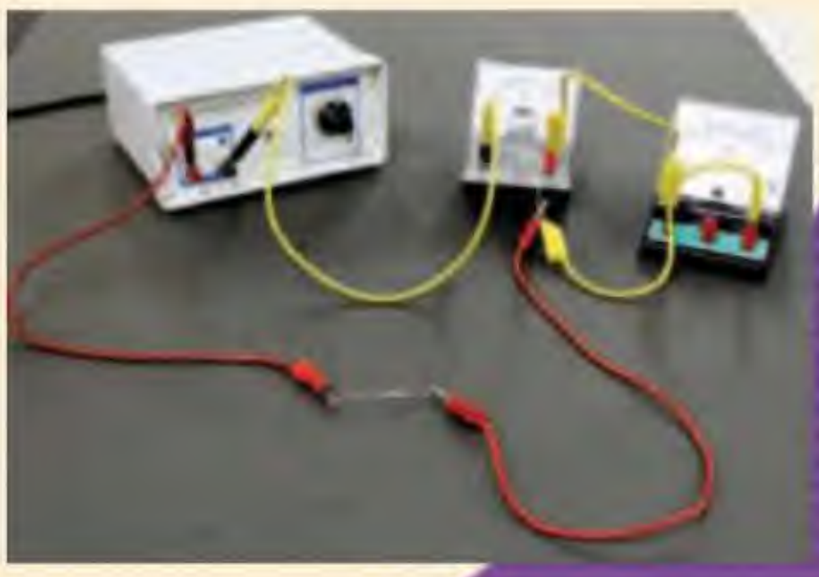
احتياطات السلامة



- استخدم التحذير المرفق مع التوصيلات الكهربائية، وتجنب لمس المقاوم؛ لأنه قد يصبح ساخنًا.
- صل مصادر القدرة مع مقبس GFCI المحمي لتجنب خطر الصدمة الكهربائية.

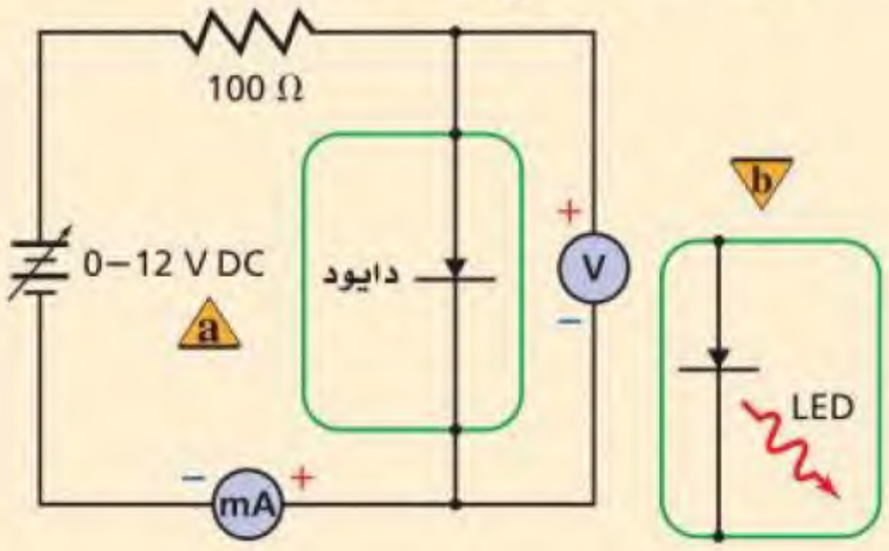
المواد والأدوات

مصدر قدرة مستمر 0–12 V DC	دايود مشع للضوء الأحمر
مقاوِم 100 Ω،	أميتر 0–100 mA DC
وقدرته 1/2 W، أو 1 W	فولتمتر (0–5) V DC
دايود 1N4002	أسلاك توصيل معزولة



الخطوات

1. أنشئ جدول بيانات مماثلًا للجدول الموضح في الصفحة التالية.
2. صل القطب السالب لمصدر القدرة مع الطرف السالب للأميتر، كما هو موضح في الرسم.



3. صل طرف الدايود المغطى بشريط الفضة مع الطرف الموجب للأميتر.
4. صل أحد طرفي المقاوِم 100 Ω مع الطرف الحر للدايود.
5. صل سلكًا من الطرف الحر للمقاوِم 100 Ω مع القطب الموجب لمصدر القدرة.
6. صل سلكًا من الطرف الموجب لجهاز الفولتمتر مع طرف الدايود الموصول مع المقاومة، كما موضح في الرسم. وصل الطرف السالب للفولتمتر مع طرف الدايود المغطى بشريط الفضة الموصول مع الأميتر.

جدول البيانات		
هبوط الجهد (V) عبر الدايود	تيار الدايود (mA)	تيار الدايود المشع للضوء (mA)
0		
0.1		
0.2		
1.9		
2.0		

7. يجب أن تكون دائرة الدايود مماثلة للجزء (a) من الرسم التخطيطي. تأكد من أن مؤشر مفتاح مصدر القدرة عند الصفر، ثم صله بمقبس الكهرباء. ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء، وذلك من أجل زيادة الهبوط في الجهد عبر الدايود من 0 حتى 0.8 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. **تحذير: إذا أصبح التيار أكبر مما يتحمله جهاز الأميتر الذي تستخدمه فلا تعمل على زيادة الجهد إلى قيمة أكبر، وتوقف عن أخذ القراءات.** حرّك مفتاح مصدر القدرة إلى الصفر، ثم افصله عن مقبس الكهرباء.
8. استعمل الدايود المشع للضوء بدل الدايود 1N4002، وذلك يقابل الجزء (b) من الرسم التخطيطي.
9. صل طرف التوصيل القصير للدايود المشع للضوء مع الطرف الموجب للأميتر (الطرف السالب للفولتمتر)؛ وهي النقطة التي وصل بها الطرف المغطى بشريط الفضة للدايود. صل الطرف الطويل للدايود المشع للضوء مع المقاوم ومع الطرف الموجب للفولتمتر.
10. صل مصدر القدرة بمقبس الكهرباء، ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء؛ وذلك لزيادة الهبوط في الجهد عبر الدايود المشع للضوء من 0 وحتى 2.0 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد. وشاهد الدايود المشع للضوء، ودوّن ملاحظاتك حوله.

التحليل

1. أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها باستخدام ورقة رسم بياني واحدة، ارسم وعيّن الرسم البياني للتيار مقابل الهبوط في الجهد لكل من الدايود والدايود المشع للضوء مثل التيار على المحور y والهبوط في الجهد على المحور x. ما شكل هذين المنحنيين البيانيّين؟
2. صياغة النماذج باستخدام قانون أوم احسب وحدد على الرسم البياني نفسه علاقة الجهد–التيار للمقاوم 100 Ω من الجهد 0 حتى 2 V، وسمِّ هذا الخط المقاوم 100 Ω. ما شكل هذا المخطط؟

الاستنتاج والتطبيق

1. قارن بين المنحنيات البيانية التيار–الجهد للدايود والدايود المشع للضوء والمقاوم.
2. أي هذه الأدوات تحقق قانون أوم؟
3. الاستنتاج والتحليل توصف الدايودات بأن لها نقطة تحوّل في الجهد. ما نقطة التحول للدايود المصنوع من السليكون، وللدايود المشع للضوء الذي استخدمته؟
4. فسّر لماذا يصبح للدايود خاصية انبعاث الضوء عند تيار محدد 20 mA مثلاً؟

التوسع في البحث

ما الذي يمكن فعله للحصول على أفضل قياسات لتيار الدايود؟

الفيزياء في الحياة

يسرى تيار مقداره 75–150 mA في المصابيح الكهربائية الصغيرة المثالية عند جهد معين. لماذا تفضل الشركات الصانعة استخدام الدايودات المشعة للضوء في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو مشغلات MP3 التي تعمل على البطاريات؟

نيوم NEOM

بمجرد أن تفكر بالمستقبل سيقفز إلى ذهنك أمور أساسية، كالذكاء الاصطناعي، والواقع الافتراضي، وإنترنت الأشياء، والأجهزة الذكية المتصلة التي تسهل حياتنا.

سوف يعتمد مشروع "نيوم NEOM" في ابتكاراته سياسة المصدر المفتوح، كي يتسنى لنخبة علماء البيانات على مستوى العالم تحليل البيانات وتحقيق الابتكارات، في حين سيجد المخترعون في "نيوم NEOM" ملاذا مثاليا لاستخدامه كمكان مأهول لإجراء التجارب والاختبارات الحضرية.

الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence

استخدمت عبارة الذكاء الاصطناعي لأول مرة عام 1955م. وعرّفت على أنها "الفهم العلمي لآليات التفكير الضمني والسلوك الذكي وتضمينها في الآلات". فقد تحتاج المهمة أحيانًا إلى ذكاء اصطناعي لكي تكون منطقية جدًّا، وأحيانًا أخرى تحتاج إلى ذكاء اصطناعي للتفكير والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان. ويهدف الذكاء الاصطناعي إلى تطوير أنظمة يمكنها أداء المهام المنطقية والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان معًا.

يستخدم الذكاء الاصطناعي حاليا للتحكم في حركة السيارات إلا أنها غير قادرة تمامًا حتى الآن على فهم اللغة التي يخاطب بها الجهاز بشكل تام ودقيق، ولكن هذا في ذاته يشكل هدفًا مستقبلاً.

وقد أُحرز تقدم في هذا المجال، ولكن حتى الآن لا يزال دماغ الإنسان أفضل كثيرًا من الحواسيب في هذا المجال. ومع تحسين الرؤية قد تمكّن الروبوتات الآلية من استكشاف كوكب آخر دون الحاجة إلى روّاد فضاء.

ويمكن استخدام الأنظمة الحاسوبية الخبيرة في المجال الطبي لتشخيص الاضطرابات بدقة عالية؛ حيث يقوم الذكاء الاصطناعي بموازنة ومقارنة الحقائق عن الحالة، ثم يستنتج الإجراءات الأكثر ملاءمة. ومع ذلك فإن الذكاء الاصطناعي يعمل فقط وفق برمجته بالمعرفة حول مواضيع ووقائع محددة زُود بها الحاسوب، ويتعين على مستخدمي الحاسوب أن يكونوا على علم دائم بهذه القيود للأنظمة الخبيرة.

دخلت المملكة العربية السعودية التاريخ لتكون أول بلد يمنح الجنسية لروبوت، وهي خطوة لتعزيز الذكاء الاصطناعي كبادرة رمزية حول مستقبل مشروع "نيوم NEOM" وكما قال صاحب السمو الملكي الأمير محمد بن سلمان آل سعود ولي العهد في مبادرة مستقبل الاستثمار:

"فقط نحن نرحب بالحالمين الذين يريدون صنع عالم جديد".



يمتلك وجه الروبوت صوفيا القدرة على تفسير المشاعر، وتعقب تعابير الوجه والتعرف عليها، وبإمكانها إجراء حوارات كاملة مع البشر.

مهن إن دراسة الرياضيات، والمنطق الرياضي ولغات برمجة الحاسوب مهمة لتطوير الأنظمة التي يمكنها اتخاذ قرارات منطقية. ويؤكد علم النفس على أن هذه القرارات يمكن أن تأخذ طابعًا إنسانيًّا.

التوسع

1. ناقش القضية هل هناك حدود أخلاقية في تطوير الذكاء الاصطناعي؟
2. إدراك السبب والنتيجة ما المشكلات التي قد تؤدي بالأنظمة الخبيرة إلى اتخاذ قرار غير دقيق؟
3. التفكير الناقد في أي الحالات يجب أن يكون الذكاء الاصطناعي عقلانيًّا ورشيدًا بصورة مطلقة، وفي أي الحالات ينبغي أن يشمل الرغبات الإنسانية؟

الفصل 5
دليل مراجعة الفصل

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in Solids

المفردات
- أشباه الموصلات
- نظرية الأحزمة
- أشباه الموصلات النقية
- الشوائب
- أشباه الموصلات غير النقية (المعالجة)

المفاهيم الرئيسة
- إن مستويات الطاقة المسموح بها في المواد الصلبة للإلكترونات الخارجية في الذرة تتوزع في حزم واسعة بواسطة المجالات الكهربائية لإلكترونات الذرات المجاورة.
- تنفصل حزم التكافؤ والتوصيل بواسطة فجوات طاقة ممنوعة، وذلك يعني أن هناك مناطق في مستويات الطاقة لا توجد الإلكترونات فيها.
- في الموصلات، يمكن للإلكترونات أن تتحرك خلال المواد الصلبة لأن حزم التوصيل مملوءة جزئيًا.
- تُعالج أشباه الموصلات من النوع n بذرات مانحة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل نتيجة استجابة الإلكترونات الممنوحة لفروق الجهد المطبّقة.
- تعالج أشباه الموصلات من النوع p بذرات مستقبلة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل بواسطة الفجوات، على أن تكون متاحة للإلكترونات في حزمة التوصيل.

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic Devices

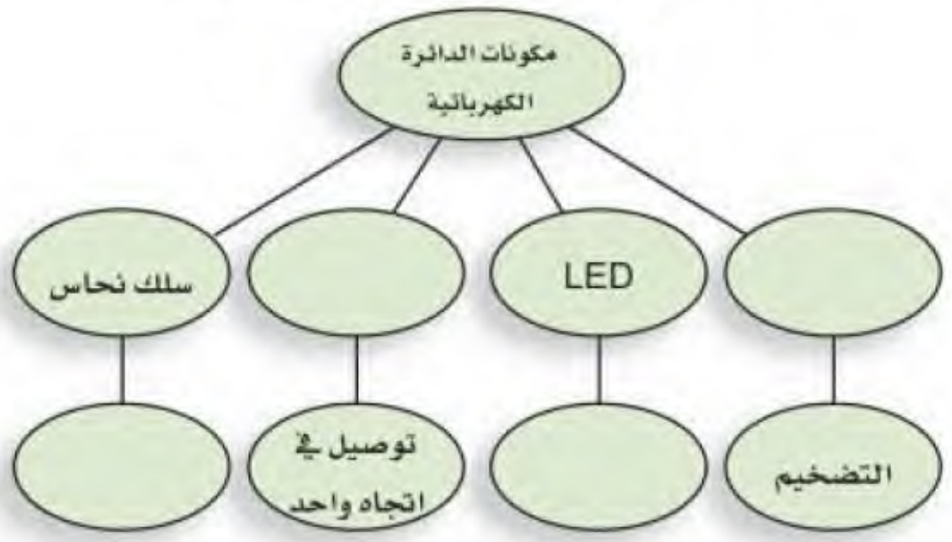
المفردات
- الدايود
- طبقة النضوب
- الترانزستور
- الرقاقة الميكروية

المفاهيم الرئيسة
- يمرر الدايود التيار الكهربائي في اتجاه واحد فقط. ويمكن استخدامه في دوائر التقويم لتحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC.
- تتحد الإلكترونات والفجوات القريبة من إحدى جوانب وصلة الدايود لتنتج منطقة خالية من ناقلات الشحنات وتعرف هذه المنطقة بطبقة النضوب.
- إن تطبيق فرق جهد ذي قطبية محددة عبر الدايود يؤدي إلى زيادة عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فلا يلاحظ أي تيارات خلالها. ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز عكسيًّا.
- إن عكس القطبية للجهد المطبّق عبر الدايود يقلل من عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فيلاحظ التيار خلالها، ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز أماميًّا.
- يعمل الترانزستور مضخمًا ومقويًا للإشارات، وهو عبارة عن شريحة مكوّنة من ثلاث طبقات من المادة شبه الموصلة تكون على شكل طبقات npn أو pnp، وتكون طبقة القاعدة المركزية رقيقة جدًّا مقارنةً بالطبقات الأخرى؛ أي الباعث والجامع.

تقويم الفصل 5

خريطة المفاهيم

33. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الترانزستور، دايود السليكون، يبعث ضوءًا، يوصل الكهرباء في كلا الاتجاهين.



إتقان المفاهيم

34. كيف تختلف مستويات الطاقة في بلورة عنصر معين عن مستويات الطاقة في ذرة مفردة من ذلك العنصر؟ (1-5)

35. لماذا يؤدي تسخين أشباه الموصلات إلى زيادة موصليتها؟ (1-5)

36. ما الناقل الرئيس للتيار في المادة شبه الموصلة من النوع P؟ (1-5)

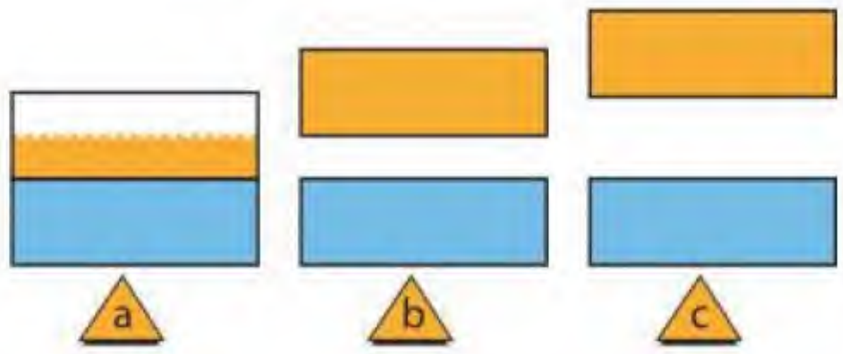
37. يطبق جهاز الأوميتر فرق الجهد على الأداة لفحصها، ويقيس التيار، ويبيّن مقاومة الأداة. إذا قمت بتوصيل الأوميتر بين طرفي الدايود، فهل يعتمد التيار الذي تقيسه على أي طرف للدايود يوصل مع القطب الموجب لجهاز الأوميتر؟ وضح إجابتك. (2-5)

38. ما معنى رأس السهم على الباعث في رمز دائرة الترانزستور؟ (2-5)

39. صف تركيب الدايود المنحاز أماميًّا. ووضح كيفية عمله. (2-5)

تطبيق المفاهيم

40. في مخطط حزم الطاقة الموضح في الشكل 16-5 أي منها تمثل المادة التي لها أكبر مقاومة؟



الشكل 16-5

41. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في الشكل 16-5 أيها له حزم توصيل نصف ممتلئة؟

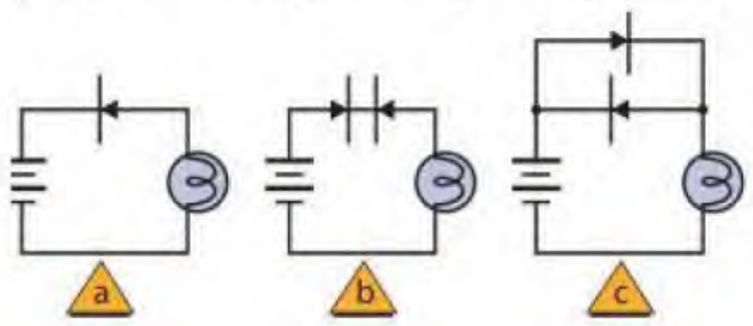
42. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في الشكل 16-5 أيها يمثل أشباه موصلات؟

43. تزداد موصلية الجرافيت عندما ترتفع درجة الحرارة. فهل توصيل الجرافيت للكهرباء أكثر من النحاس أم السليكون؟

44. أي المواد الآتية تعمل عوازل جيدة: مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 8 eV، أم مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 3 eV، أم مادة ليس لها فجوة ممنوعة؟

45. بالنسبة لذرات المواد الثلاث الواردة في السؤال السابق، أي هذه المواد أكثر صعوبة عند انتزاع إلكترون من ذراتها؟

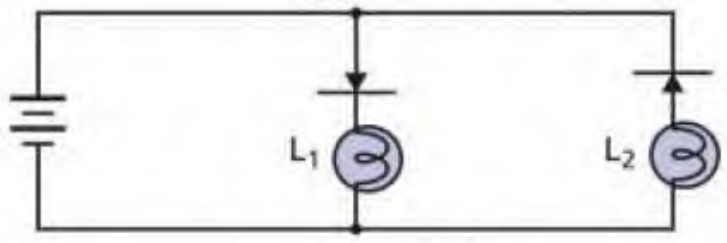
46. حدد إذا كان المصباح الكهربائي في كل من الدوائر a,b,c الموضحة في الشكل 17-5 مضيئًا أم لا.



الشكل 17-5

تقويم الفصل 5

47. في الدائـرة الموضحة في **الشـكل 18–5**، حدد ما إذا كان أحد المصباحين L_1 و L_2 مضيئًا، أم كلاهما مضيء، أم كلاهما غير مضيء.



الشكل 18—5

48. اسـتخدم الجدول الدوري لتحديد أي العناصر الآتية يمكن أن يضاف إلى الجرمانيوم لتكوين شبه موصل من النـوع p: B، C، N، P، Si، Al، Ge، Ga، As، In، Sn، Sb.

49. هل يُظهر جهاز الأوميتر مقاومة أكبر عندما يكون الدايود مـن النوع **pn** منحازًا أماميًّـا أم منحازًا عكسيًّا؟

50. إذا أظهر جهاز الأوميتر في المسألة السابقة مقاومة متدنية فهل يكون سـلك توصيـل الأوميتر عند رأس سـهم الدايود ذا جهد مرتفـع أم ذا جهد منخفض؛ مقارنة بالسلك الآخر الموصول بالأوميتر؟

51. إذا قمت بمعالجة الجرمانيوم النقي بعنصر الجاليوم وحده، فهل تنتج مقاومًا، أم دايودًا، أم ترانزستورًا؟

إتقان حل المسائل

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة

52. ما عـدد الإلكتـرونات الحـرة الموجـودة في سـنتمتر مكعـب من الصـوديوم؟ علمًا أن كثـافتـه تسـاوي $0.971\ g/cm^3$، وكتـلتـه الـذريـة تسـاوي $22.99\ g/mol$، عندمـا يوجـد إلكـترون حـر واحـد في كل ذرة.

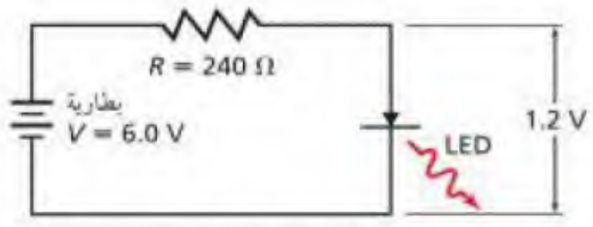
53. لعنصر السـيلكون النقي تبلغ عدد الإلكترونات الحرة في كل سنتمتر مكعب $1.55\times10^{9}\ e^-/cm^3$ عند درجة حرارة $0^{\circ}C$ إذا علمت أن كثافة السليكون تساوي $2.33\ g/cm^3$، والكتلة الذرية للسليكون تساوي $28.09\ g/mol$ فما نسبة الذرات التي تحتوي على إلكترونات حرة؟

5–2 الأدوات الإلكترونية

54. **LED** إذا كان هبـوط الجهد عبر الدايود المشـع للضـوء المتوهـج يسـاوي 1.2 V تقريبًـا. وفي **الشـكل 19–5**، فإن هبوط الجهد عـبر المقاومة هو الفرق بين جهد البطاريـة وهبوط الجهد عبر الدايود المشـع للضوء. ما مقدار التيار الكهربائي المارّ خلال كل مما يأتي؟

a. الدايود المشع للضوء LED

b. المقاومة



الشكل 19—5

55. أراد عمـر زيادة التيار المارّ خلال الدايود المشـع للضوء في المسألة السابقة ليصبح $3\times10^{1}\ mA$ على أن تكون إضاءته أكثر سطوعًا. افترض أن هبوط الجهد عبر الدايود المشـع للضوء بقي 1.2 V، فما مقدار المقاومة التي ينبغي له استخدامها؟

56. **الدايود** وصل دايود من السليكون ذو الخصائص I/V الموضحة في **الشـكل 10–5** مع بطارية من خلال مقاومة مقدارهـا 270 Ω. إذا كان الدايود منحـازًا إلى الأمام بواسـطة بطاريـة، وكان تيار الدايود يساوي 15 mA، فما مقدار جهد البطارية؟

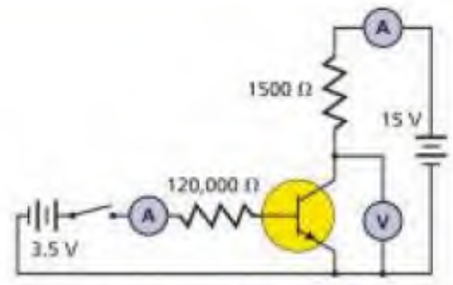
57. افـترض أن المفتـاح الموضح في **الشـكل 20–5** مفتوح، وحدد كلاً من:

a. تيار القاعدة.

b. التيّار الجامع.

c. قراءة جهاز الفولتمتر.

تقويم الفصل 5



الشكل 20–5

58. افـترض أن المفتـاح الموضح في **الشـكل 20–5** مغلق، وهبوط الجهد عبر وصلة القاعدة–الباعث يسـاوي 0.70 V، وكسـب التيار مـن القاعدة للجامع يساوي 220، وحدد كلًّا من:

a. تيار القاعدة.

b. تيار الجامع.

c. قراءة الفولتمتر.

مراجعة عامة

59. الموجـات الكهرومغناطيسـية التـي تصطـدم بالسليكون تحرك الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عندما تكون الفجوة الممنوعة فيه 1.1 eV. ما أكبر طول موجي للإشـعاع الذي يمكن أن يثير الإلكترون بهـذه الطريـقة؟ تذكّر أن $E = 1240\ eV.nm / \lambda$.

60. **صمـام الـ Si** يظهر دايود السـليكون الخاص عند درجة حـرارة 0°C تيارًا كهربائيًّا مقداره 1.0 nA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعـه إذا ارتفعت درجة الحـرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للسليكون يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8°C).

61. **صمـام الـ Ge** يظهر دايود الجرمانيوم الخاص عند درجة حرارة 0°C تيـارًا كهربائيًّا مقداره 1.5 μA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعـه إذا ارتفعت درجة الحـرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للجرمانيوم يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C).

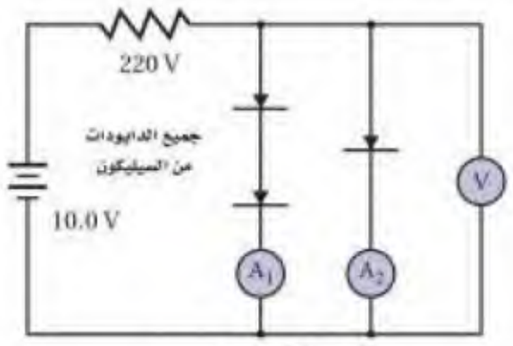
62. **LED** ينتج الدايود المشـع للضـوء ضوءًا أخضر طوله الموجي 550 nm عندما تتحرك الإلكترونات من حزمـة التوصيل إلى حزمة التكافؤ. احسـب عـرض الفجوة الممنوعة بوحـدة eV في هذا الدايود.

63. ارجع إلى **الشكل 21–5** وحدد كلًّا من:

a. قراءة الفولتمتر.

b. قراءة A_1.

c. قراءة A_2.



الشكل 21–5

التفكير الناقد

64. **تطبيـق المفاهيـم** هنـاك بعـض المحـركات في **الشـكل 22–5**، تدور في اتجاه عنـد تطبيق قطبية معينة وتدور في الاتجاه المعاكس عند عكس القطبية.

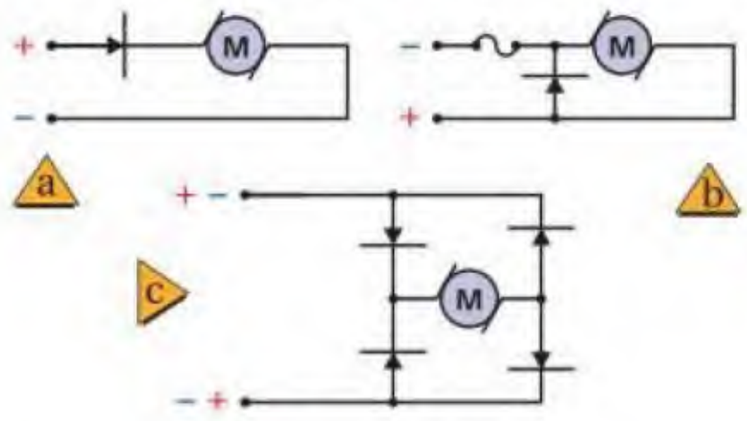
a. أي دائـرة (a، b، c) ستسـمح للمحـرك بالدوران في اتجاه واحد فقط؟

b. أي دائرة ستؤدي إلى تلف المنصهر الكهربائي (الفيوز) عند تطبيق قطبية غير صحيحة؟

c. أي دائـرة تنتج اتجـاه دوران صحيح بغض النظر عن القطبية المطبقة؟

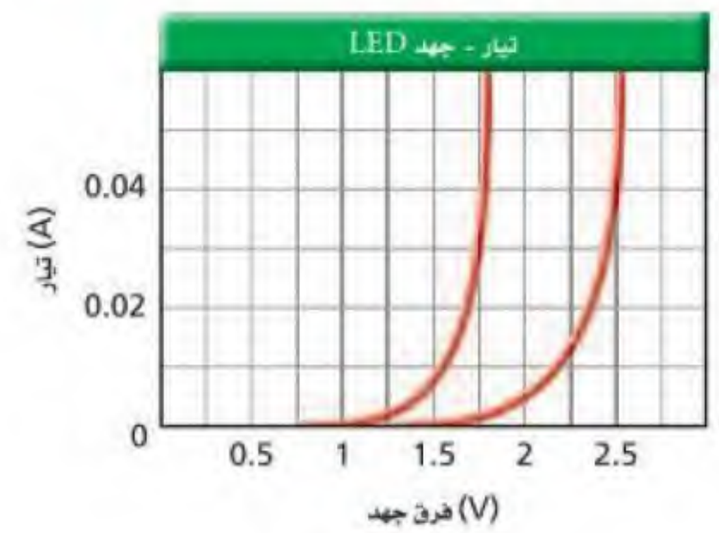
تقويم الفصل 5

d. ناقش مزايا وعيوب كل من الدوائر الثلاث.



الشكل 22–5

65. تطبيق المفاهيم يوضح الشكل 23–5 خصائص I /V لاثنين من الدايودات المشعة للضوء والتي تتوهج بألوان مختلفة. يتعين أن يوصل كل دايود ببطارية جهدها 9.0 V من خلال مقاومة. إذا كان كل دايود يشغّل بتيار مقداره 0.040 A، فما مقدار المقاومات التي ينبغي اختيارها لكل دايود؟



الشكل 23–5

66. تطبيق المفاهيم افترض أن الدايودين الواردين في المسألة السابقة قد وُصلا معًا على التوالي، فإذا استخدمت البطارية الواردة في المسألة السابقة نفسها، وكان التيار المطلوب يساوي 0.035 A، فما المقاوم الذي ينبغي استخدامه؟

الكتابة في الفيزياء

67. ابحث حول مبدأ الاستبعاد لباولي وحياة فولفجانج باولي، وسلّط الضوء على إسهاماته البارزة في مجال العلوم. وصف تطبيق مبدأ الاستبعاد على نظرية الحزم في التوصيل، وخصوصًا في أشباه الموصلات.

68. اكتب مناقشة تتكون من صفحة واحدة حول مستوى طاقة فيرمي عند تطبيقها على مخططات حزم الطاقة لأشباه الموصلات على أن تتضمن المناقشة رسمًا واحدًا على الأقل.

مراجعة تراكمية

69. أنبوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟ (فيزياء 2)

اختبـار مقـنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أي العبارات الآتية الخاصة بالدايود تعدّ غير صحيحة؟
يمكن للدايود.....

Ⓐ تضخيم الجهد
Ⓑ الكشف عن الضوء
Ⓒ أن يبعث ضوءًا
Ⓓ تقويم التيار المتردد

2. تحتوي كل ذرة كادميوم على إلكترونين حرين. ما عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في $1\ cm^3$ لعنصر الكادميوم، علمًا أن كثافة الكادميوم تساوي $8650\ kg/m^3$؟

Ⓐ 1.24×10^{21}
Ⓑ 9.26×10^{22}
Ⓒ 9.26×10^{24}
Ⓓ 1.17×10^{27}

3. إذا كان تيار القاعدة في دائرة الترانزستور يساوي $45\ \mu A$ وتيار الجامع يساوي $8.5\ mA$، فما مقدار كسب التيار من القاعدة إلى الجامع؟

Ⓐ 110
Ⓑ 190
Ⓒ 205
Ⓓ 240

4. في المسألة السابقة إذا زاد تيار القاعدة بمقدار $5\ \mu A$، فما مقدار الزيادة في تيار الجامع؟

Ⓐ $5\ \mu A$
Ⓑ $1\ mA$
Ⓒ $10\ mA$
Ⓓ $190\ \mu A$

5. تبين دائرة ترانزستور أن تيار الجامع $4.75\ mA$، وكسب التيار من القاعدة إلى الجامع 250، فما مقدار تيار القاعدة؟

Ⓐ $1.19\ \mu A$
Ⓑ $18.9\ \mu A$
Ⓒ $4.75\ mA$
Ⓓ $1190\ mA$

6. أي الصفوف في الجدول الآتي تمثّل الوصف الأفضل لأشباه موصلات السليكون لكل من النوع n والنوع p؟

	النوع n	النوع P
Ⓐ	معالج بالجاليوم	إلكترونات مضافة
Ⓑ	إلكترونات مضافة	معالج بالزرنيخ
Ⓒ	معالج بالزرنيخ	فجوات مضافة
Ⓓ	فجوات مضافة	معالج بالجاليوم

7. أي الصفوف الآتية تمثّل أفضل وصف لسلوك أشباه الموصلات النقية -سيلكون نقي- عند زيادة درجة الحرارة؟

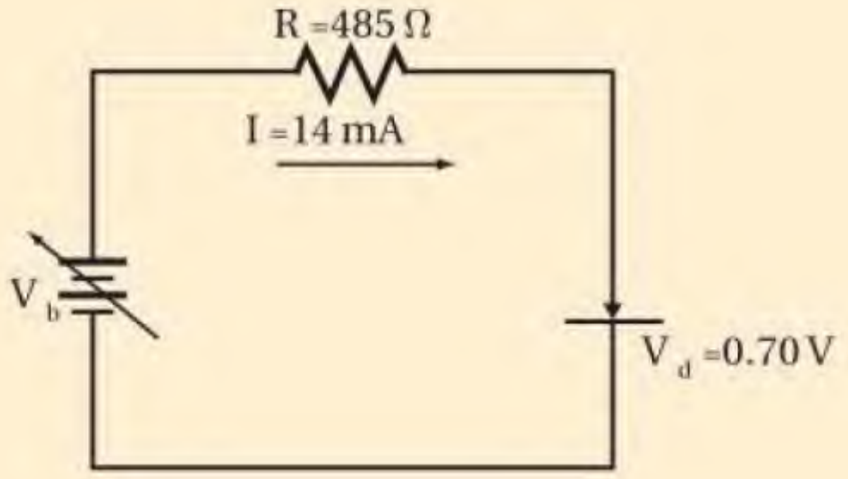
	الموصلية	المقاومة
Ⓐ	تزداد	تزداد
Ⓑ	تزداد	تقل
Ⓒ	تقل	تزداد
Ⓓ	تقل	تقل

8. يتضاعف إنتاج الإلكترون حراريًّا في السليكون لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره $8\ ^\circ C$. يظهر دايود السليكون تيارا $2.0\ nA$ عند درجة حرارة $0\ ^\circ C$ عندما يكون منحازًا عكسيًّا. كم يكون مقدار التيار عند $112\ ^\circ C$ إذا كان جهد القاعدة العكسي ثابتًا؟

Ⓐ $11\mu A$
Ⓑ $33\mu A$
Ⓒ $44\mu A$
Ⓓ $66\mu A$

الأسئلة الممتدة

9. وصل دايود السليكون في اتجاه منحاز إلى الأمام مع مصدر قدرة من خلال مقاوِم مقداره 485 Ω، كما موضح أدناه، إذا كان هبوط جهد الدايود يساوي 0.70 V، فما مقدار جهد مصدر القدرة عندما يكون تيار الدايود 14 mA؟



✓ إرشاد

ركّز.

إذا تحدّث الطلاب الجالسون إلى جوارك أثناء الاختبار، فيتعين عليك أن تنتقل إلى مكانٍ آخر. فقط انتبه إلى تعليمات المعلم أثناء الاختبارِ؛ لأن الحديث أثناء الاختبار إلهاء ومضيعة للوقت، فضلاً عن أن المعلم قد يعتقد أنك تغش، فلا تتحدث مع الآخرين وركّز في الاختبار.

الفصل 6

الفيزياء النووية
Nuclear Physics



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف مكوّنات النواة، وكيف يؤثر الاضمحلال الإشعاعي في هذه المكوّنات.
- حساب الطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية.
- دراسة كيفية إنتاج واستخدام النظائر المشعة والطاقة النووية.
- فهم التركيب البنائي للمادة.

الأهمية

للفيزياء النووية العديد من التطبيقات التي تتضمن: الأبحاث الطبية، وإنتاج الطاقة، ودراسة تركيب المادة.

الطب تُستخدم النظائر المشعة لتكوين صورة للدماغ، وأجهزة الجسم الأخرى؛ للتشخيص الطبي والبحث العلمي.

فكّر ◄

كيف تساعد الأشعةُ المنبعثة من النظائر المشعة العلماءَ والأطباء على تتبع العمليات التي تجري في جسم الإنسان؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكنك عمل نموذج للنواة؟

سؤال التجربة فيم تتشابه القوة التي يؤثر بها شريط ذو وجهين لاصقين مع القوة النووية القوية؟

الخطوات

1. غلّف الأوجه الخارجية لـ 3–6 أقراص مغناطيسية باستخدام الشريط اللاصق ذي الوجهين، ثم كرر الشيء نفسه لـ 3–6 أقراص من الخشب أو الألومنيوم مماثلة لها في الحجم. تمثل المغانط البروتونات، وتمثل الأقراص الأخرى النيوترونات.
2. رتّب المغانط بحيث تكون أقطابها الشمالية متقابلة.
3. صِف القوة المؤثرة في بروتون في أثناء تقريبه من بروتون آخر حتى يتلامسا.
4. صِف القوة المؤثرة في نيوترون في أثناء تقريبه من نيوترون آخر أو من بروتون حتى يتلامسا.



التحليل

تهبط القوة النووية القوية إلى الصفر عندما يبتعد مركزا النيوكليونين أحدهما عن الآخر مسافة تزيد على نصفي قطريهما.

كيف يمكن مقارنة ذلك مع مدى قوة الشريط اللاصق؟ القوة النووية متساوية لكل من النيوترونات والبروتونات. هل يصف هذا المثال ما يحدث في النواة؟

التفكير الناقد تحتوي النواة المستقرة عادةً على عدد من النيوترونات يزيد على عدد البروتونات. لماذا يسلك هذا المثال الطريقة نفسها التي تحدث داخل النواة؟

6–1 النواة The Nucleus

لم يثبت العالم إرنست رذرفورد وجود النواة فقط، بل أجرى أيضًا بعض التجارب المبكرة بهدف اكتشاف تركيبها. من الأهمية أن تدرك أن تجارب رذرفورد والتجارب التي أجراها العلماء بعده لم يتم فيها مراقبة الذرة مباشرةً؛ فقد تم استخلاص الاستنتاجات من المشاهدات التي توصل إليها الباحثون. تذكّر أن فريق رذرفورد أجرى بعناية قياسات دقيقة لانحراف جسيمات ألفا عندما اصطدمت بشريحة الذهب. ويمكن تفسير هذه الانحرافات إذا كان معظم حجم الذرة فراغًا. وقد أظهرت التجارب كذلك أن الذرة تحتوي على مركز صغير جدًّا ذي كثافة كبيرة وشحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة، ومحاط بإلكترونات مهملة الكتلة تقريبًا.

بعد أن اكتشف العالم بيكرل عام 1896م النشاط الإشعاعي اتجه البحث إلى التأثيرات الناتجة عن اضمحلال النواة نتيجة التحلل الإشعاعي الطبيعي.

ثم اكتشف كل من ماري وبيير كوري عنصرًا جديدًا (الراديوم)، وجعلا منه عنصرًا متوافرًا للباحثين في كافة أنحاء العالم؛ مما أثرى دراسة النشاط الإشعاعي. ثم اكتشف العلماء إمكانية تحويل نوع من الذرات إلى نوع آخر من خلال النشاط الإشعاعي، ومن ثم فلابد أن الذرات تتكوّن من أجزاء أصغر. ثم استخدم كل من إرنست رذرفورد وفريدرك سودي النشاط الإشعاعي لدراسة مركز الذرة (النواة).

الأهداف

- **تحدد** عدد النيوترونات والبروتونات في النواة.
- **تعرف** طاقة الربط النووية للنواة.
- **تربط** الطاقة الناتجة عن التفاعل النووي مع التغير في طاقة الربط النووية في أثناء التفاعل.

المفردات

العدد الذري
وحدة الكتل الذرية
العدد الكتلي
النويدة (نواة النظير)
القوة النووية القوية
النيوكليونات
طاقة الربط النووية
فرق الكتلة

وصف النواة Description of Nucleus

هل تتكوّن النواة من جسيمات مشحونة بشحنة موجبة فقط؟ بداية تم تعرّف كتلة النواة، وحقيقة أن شحنتها موجبة فقط. كما عُرف مقدار شحنة النواة نتيجة تجارب تشتّت الأشعة السينية التي أجراها هنري موسلي أحد أعضاء فريق رذرفورد. وأظهرت النتائج أن البروتونات موجبة الشحنة، وأنها مسؤولة عن نصف كتلة النواة. وافترضت إحدى الفرضيات أن الكتلة الإضافية هي نتيجة لوجود البروتونات، وأن في النواة إلكترونات تقلل من قيمة الشحنة التي لوحظت. ومع ذلك واجهت هذه الفرضية بعض المشكلات الأساسية. وفي عام 1932م حلّ العالم الإنجليزي جيمس شادويك هذه المشكلة عندما اكتشف وجود جسيم متعادل كتلته تساوي كتلة البروتون تقريبًا داخل النواة، عُرِّفَ بالنيوترون، وهو المسؤول عن الكتلة المفقودة للنواة دون زيادة شحنتها.

كتلة النواة وشحنتها البروتون هو الجسيم الوحيد المشحون داخل النواة. **والعدد الذري** Z للذرة هو عدد البروتونات. لذا فإن شحنة النواة الكلية تساوي عدد البروتونات مضروبًا في الشحنة الأساسية:

$$\text{شحنة النواة} = Ze$$

ولكل من البروتون والنيوترون (النيوكليونات) كتلة تساوي تقريبًا 1u؛ حيث u **وحدة الكتلة الذرية**، وتعادل 1.66×10^{-27} kg، وتزيد حوالي 1800 مرة على كتلة الإلكترون. ولتحديد الكتلة التقريبية للنواة احسب حاصل ضرب مجموع عدد النيوترونات والبروتونات أو **العدد الكتلي** A في وحدة الكتل الذرية u.

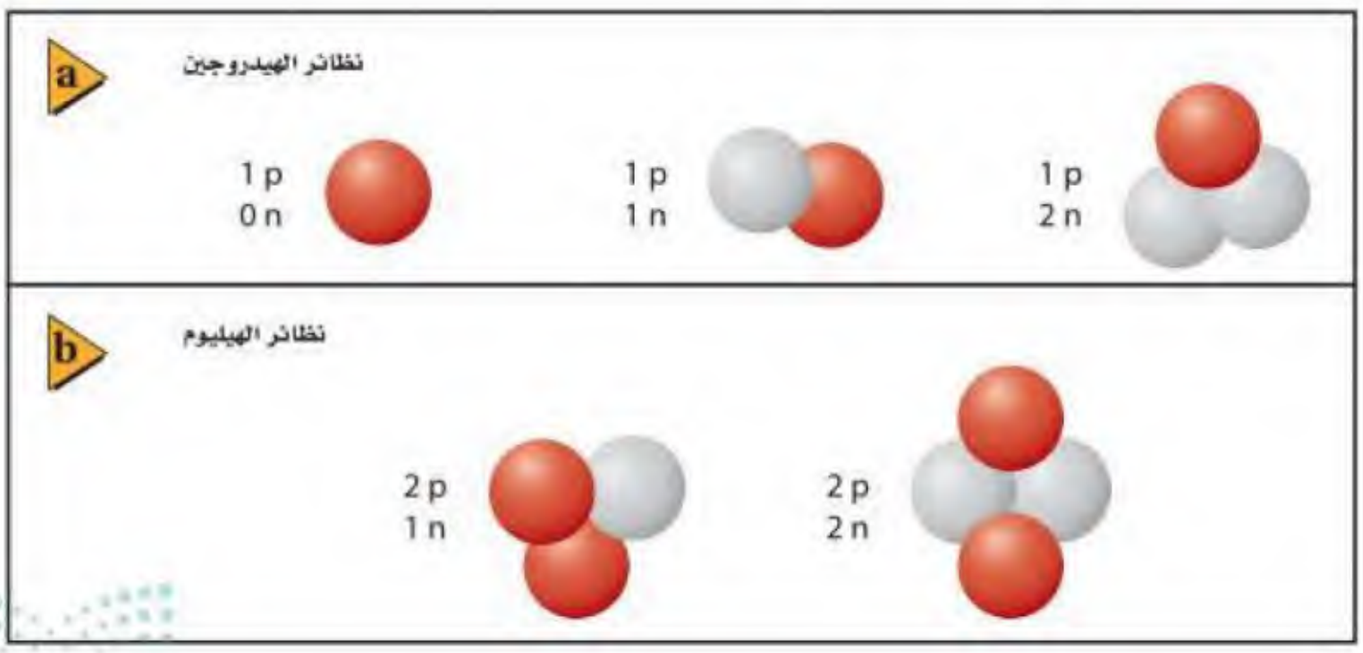
$$\text{كتلة النواة} \cong A\ (u)$$

حجم النواة أظهرت نتائج رذرفورد القياسات الأولى لحجم النواة فقد، وجد أن قطر النواة يساوي 10^{-14} m تقريبًا. وبذلك يكون للذرة المثالية نصف قطر أكبر أكبر 10000مرة من حجم النواة.

وعلى الرغم من أن النواة تحتوي على كل كتلة الذرة تقريبًا، إلا أنها تشغل حيزًا في الذرة أقل من الحيز الذي تشغله الشمس في النظام الشمسي. والنواة مركّزة بطريقة غير مُتخيَّلة؛ فكثافتها $1.4 \times 10^{18}\ kg/m^3$ تقريبًا. فإذا افترضنا أن حجم النواة سنتمتر مكعب واحد فسوف تكون كتلتها بليون طن تقريبًا.

رموز الكتب

يرمز لوحدة الكتل الذرية atomic mass unit في كتاب الفيزياء بالرمز u وبالرمز amu في كتاب الكيمياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الوحدة.



الشكل 1–6 تُظهر نويدات الهيدروجين (a)، والهيليوم (b) لجميع نويدات العنصر العدد نفسه من البروتونات (باللون الأحمر)، وعددًا مختلفًا من النيوترونات (باللون الرمادي).

هل لجميع العناصر العدد الكتلي نفسه؟

Do all elements have the same mass numbers?

بالنظر إلى الجدول الدوري ستلاحظ أن العناصر الأربعة الأولى لها عدد كتلي A قريب من العدد الصحيح على الرغم من أن كتلة البـــورون 10.81 u فلو كانـــت النواة تتكون من البروتونات والنيوترونات فقط وكانـــت كتلة كل منها 1 u تقريبًا، فإن الكتلة الكلية لأي ذرة يجب أن تكون عددًا صحيحًا.

إن إشـــكالية كون الكتل الذرية لا تساوي عددًا صحيحًا تم حله باستخدام جهاز مطياف الكتلة. لقـــد تعلمت كيف يُظهر مطياف الكتلة إمكانية وجود كتل مختلفة لذرات العنصر الواحد. ففي تحليل عينة نقية من النيون مثلاً لم تظهر بقعة واحدة فقط، بل ظهرت بقعتان على شاشـــة مطياف الكتلة، وهما ناتجتان عن ذرات نيون مختلفة الكتلة. وقد وجدت ذرة نيـــون واحدة لها كتلـــة 20 u، بينما كتلة النوع الثـــاني 22 u. إن ذرة النيون الطبيعية تحتوي على عشرة بروتونات وعـــشرة إلكترونات في الذرة، لكن وجد أنه بينما تحتوي أنوية أنواع مـــن ذرات النيون عـــلى 10 نيوترونات في كل منها، فإن أنواعًا أخـــرى تحتوي نواتها على 12 نيوترونًـــا. وهذان النوعان من الذرات يســـميان نظائر النيون. وتســـمى **نواة النظير النويدة**. وجميع نويدات العنصر لها العدد نفســـه من البروتونات، ولكن لها أعدادًا مختلفة من النيوترونات، كما في نويدات الهيدروجين والهيليوم الموضحة في **الشكل 1–6**. علمًا بأن جميع نظائر العنصر المتعادل كهربائيًّا لها العدد نفســـه من الإلكترونات حول النواة، وكذا السلوك الكيميائي.

متوسط الكتلة الكتلة المقيسة لغاز النيون هي 20.183 u. وهذا الرقم يعرف بمتوسط كتلة نظائـــر النيون الموجودة طبيعيًّا. وعلى الرغم من أن كتلة ذرة النيون المفردة قريبة من العدد الصحيح لوحدات الكتل، فإن الكتلة الذرية المحســـوبة من متوسط الكتل للنيون ليست كذلك. ولمعظم العناصر أشكال متعددة من النظائر التي تنتج طبيعيًّا. وتستخدم كتلة أحد نظائر الكربون (كربون–12) بوصفها وحدة الكتل الذرية؛ فوحدة الكتل الذرية الواحدة u تســـاوي $\frac{1}{12}$ من كتلة نظير الكربون 12. ولوصف النظير يستخدم الرمز Z المنخفض عن يسار رمز العنصر ليمثل العدد الذري أو الشـــحنة، بينما يكتب الرمز العلوي A عن يسار رمز العنصر أيضًا ليمثل العدد الكتلي، بحيث يأخذ هذا الترميز الشـــكل ${}^{A}_{Z}X$؛ حيث X رمز العنصر. فيكتب الكربون–12 مثلاً ${}^{12}_{6}C$ ، ويكتب نظيرا النيون اللذان عددهما الذري 10 في صورة ${}^{20}_{10}Ne$ و ${}^{22}_{10}Ne$.

مسائل تدريبية

1. الأعداد الكتليـــة لنظائر اليورانيـــوم هـــي 234، 235، و238. والعدد الذري لليورانيوم هو 92. ما عدد نيوترونات نواة كل نظير؟
2. العدد الكتلي لنظير الأوكسجين 15. ما عدد نيوترونات نواة هذا النظير؟
3. ما عدد نيوترونات نظير الزئبق ${}^{200}_{80}Hg$ ؟
4. اكتب رموز نظائر الهيدروجـــين الثلاثة التي تحتوي على صفر، وواحد، واثنين من النيوترونات.

ما الذي يحافظ على نيوكليونات النواة معًا؟
What holds the nucleus together?

تبقى الإلكترونات السالبة الشحنة المحيطة بنواة الذرة الموجبة الشحنة في مكانها بتأثير قوة التجاذب الكهرومغناطيسية. ولأن النواة تتكون من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات المتعادلة الشحنة فربما تسبب قوة التنافر الكهرومغناطيسية بين البروتونات تباعد بعضها عن بعض. ولأن هذا لا يحدث فيجب أن توجد قوة تجاذب متبادلة وقوية داخل النواة.

القوة النووية القوية The Strong Nuclear Force

القوة التي تؤثر بين البروتونات والنيوترونات والموجودة في النواة والقريبة جدًا بعضها إلى بعض تسمى **القوة النووية القوية**. وهذه القوة تزيد 100 مرة على القوة الكهرومغناطيسية. إن مدى هذه القوة قصير، ويساوي نصف قطر البروتون فقط؛ أي 1.4×10^{-15} m تقريبًا. كما أنها قوة تجاذب، وهي القوة نفسها التي تؤثر بين البروتونات والبروتونات، وكذلك بين البروتونات والنيوترونات، وأيضًا بين النيوترونات والنيوترونات.

تسمى كل من النيوترونات والبروتونات **النيوكليونات**. تحافظ القوة النووية الهائلة على بقاء النيوكليونات في النواة. ولإخراج النيكليون خارج النواة يجب بذل شغل للتغلب على قوة التجاذب، وهذا الشغل يضاف إلى النظام. لذلك طاقة النواة الكلية أقل من مجموع طاقات البروتونات والنيوترونات المنفردة التي تتكوّن منها النواة. ويتحول فرق الطاقة للنواة إلى **طاقة ربط نووية**. ولأن طاقة النواة الكلية أقل، فإن طاقات الربط جميعها تكون سالبة.

تطبيق الفيزياء

القوى

البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة. وقوة التجاذب الكهرومغناطيسية بين الإلكترون والبوزترون أكبر من قوة التجاذب التثاقلية بمقدار 4.2×10^{42} مرة.

طاقة الربط النووية Binding Energy of the Nucleus

بيّن أينشتاين أن كلًّا من الكتلة والطاقة متكافئتان. لذلك يمكن التعبير عن طاقة الربط على شكل كمية مكافئة من الكتلة بالمعادلة التالية:

الطاقة المكافئة للكتلة $E = mc^2$

الطاقة المحتواة في المادة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ.

ولأنه يجب أن تضاف طاقة لإفلات نيوكليون من النواة، فإن ذلك يعني أن كتلة النواة الكلية أقل من مجموع كتل النيوكليونات التي تحويها.

فمثلاً تحوي نواة الهيليوم ^4_2He على بروتونين ونيوترونين. وكتلة البروتون 1.007276 u، بينما كتلة النيوترون 1.008665 u. فإذا كانت كتلة نواة الهيليوم تساوي مجموع كتل بروتونين ونيوترونين فسوف تتوقع أن كتلة النواة 4.031882 u. لكن القياس الدقيق يُظهر أن كتلة نواة الهيليوم الفعلية 4.002603 u فقط، وهي أقل من كتل النيوكليونات المكوّنة لها بمقدار 0.029279 u. ويسمى الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها **فرق الكتلة**.

ويقيس جهاز مطياف الكتلة عادة كتل النظائر؛ وهي النويدات مع جميع إلكتروناتها. وعند حساب فرق الكتلة للنويدات يجب أن تتأكد من حساب كتلة الإلكترونات بصورة دقيقة.

لذلك فإن كتلة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) تذكر عادة في مسائل فرق الكتلة. وتقاس الكتل عادةً بوحدة الكتل الذرية، لذا من المفيد تحديد مقدار الطاقة المكافئة لـ $1\text{u}\ (1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg})$. ولتحديد الطاقة يجب أن تضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء في الفراغ $2.9979 \times 10^{8}\ \text{m/s}$، ويعبّر عن الناتج بخمسة أرقام معنوية.

$$E = mc^2 = (1.6605 \times 10^{-27}\ \text{kg})\ (2.9979 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{kg. m}^2/\text{s}^2$$
$$= 1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

ومن أكثر الوحدات سهولة في الاستخدام وحدة الإلكترون فولت.

$$E = (1.4924 \times 10^{-10}\ \text{J})(1\ \text{eV}/1.60217 \times 10^{-19}\ \text{J})$$
$$= 9.3149 \times 10^{8}\ \text{eV} = 931.49\ \text{MeV}$$

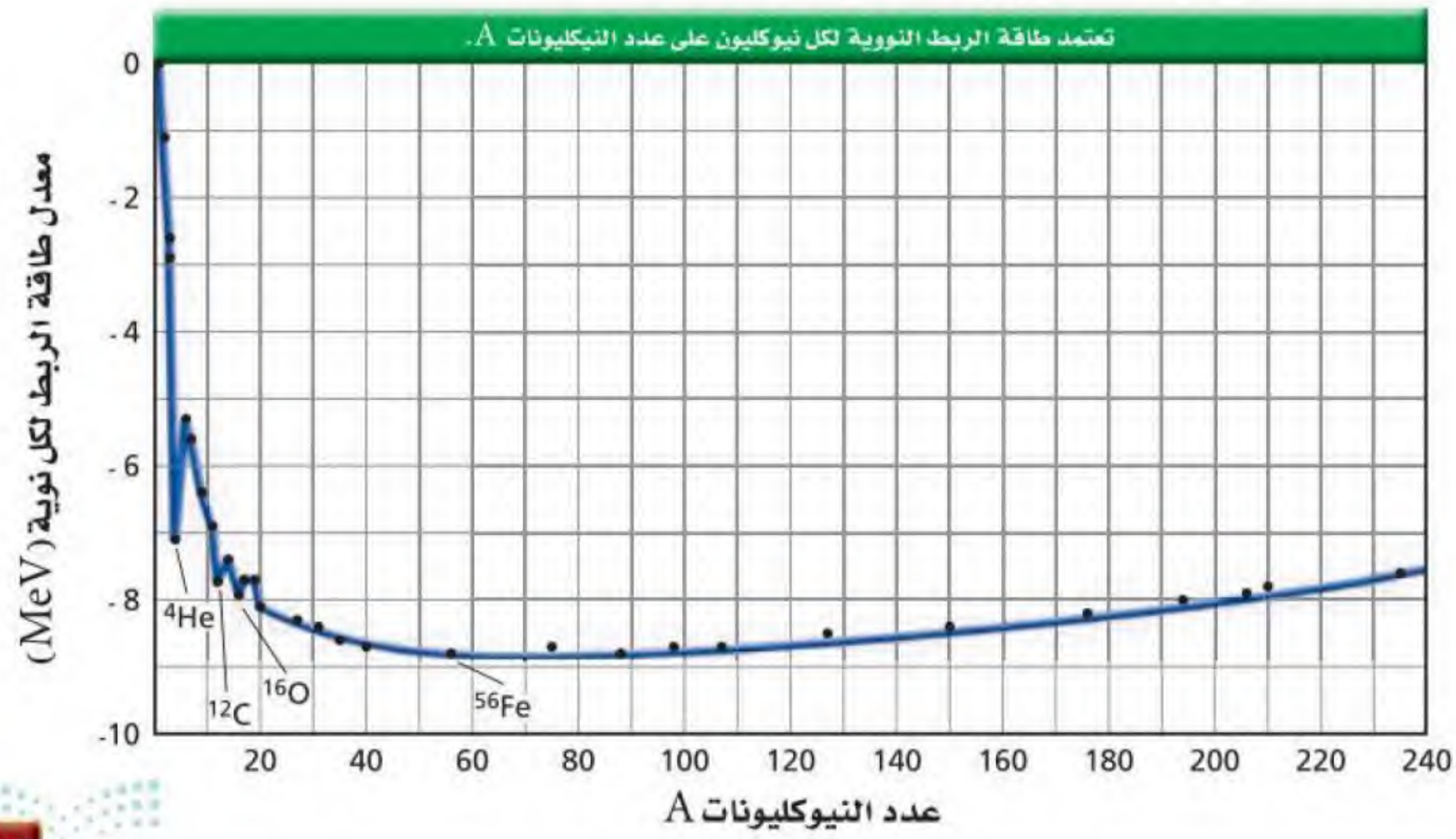
وهذا يعني أن 1u من الكتلة تكافئ 931.49 Mev من الطاقة، والشكل **2–6** يبيّن كيف تعتمد طاقة ربط النوية على كتلة النواة (فرق الكتلة 1u)(طاقة الربط النووية لـ 1u) = E.

إن الأنوية الثقيلة ترتبط بقوة أكبر من الأنوية الخفيفة ما عدا القليل منها. وطاقة الربط النووية لكل نوية تصبح أكثر سالبية كلما ازداد العدد الكتلي A حتى القيمة 56، ويعد الحديد Fe. ونواة الحديد $^{56}_{26}\text{Fe}$ من أكثر الأنوية ترابطًا، لذلك تصبح الأنوية أكثر استقرارًا كلما اقترب عددها الكتلي من العدد الكتلي للحديد. أما الأنوية ذوات الأعداد الكتلية الأكبر من ذلك تكون أقل ترابطًا، لذا تكون أقل استقرارًا.

ويحدث التفاعل النووي طبيعيًّا إذا تحررت طاقة نتيجة التفاعل، وهذا يعني أنه إذا تحوّل موقع نواة إلى موقع أقرب من النقطة الدنيا للمنحنى البياني عند A = 56 والتي هي أقل من العدد الكتلي لنواة $^{56}_{26}\text{Fe}$، يكون أكثر استقرارًا. ويحدث لها تفاعل نووي طبيعي إذا زاد العدد الكتلي لها.

ويتحول الهيدروجين في الشمس والنجوم الأخرى إلى هيليوم وكربون وبعض العناصر الأثقل الأخرى في تفاعلات تُحرر طاقة مولدة إشعاعًا كهرومغناطيسيًّا، والذي تعلم – من خلال خبرتك – أنه ليسَ مجرد ضوء مرئي بل هو أوسع من ذلك.

■ **الشكل 2–6** طاقة الربط النووية لكل نيوكليون تعتمد على عدد النيوكليونات A.



عند الأعــداد الكتلية الأكبر من 56 يحدث تفاعل نووي طبيعــي إذا نقص العدد الكتلي. وعندما يضمحل اليورانيوم 238 إلى الثوريوم 234 تكون نواة الثوريوم الناتجة أكثر استقرارًا من نواة اليورانيوم، وتتحرر الطاقة على شــكل جسيم مشع ذي كتلة وطاقة حركية. ولن يتحوّل الثوريوم تلقائيًّا إلى اليورانيوم؛ لأنه يجب إضافة طاقة إلى النواة لحدوث ذلك. وقد تولدَّت أنوية العناصر الثقيلة في الجدول الدوري بهذه الطريقة، وباندماج الأنوية الصغيرة باستخدام المسارعات الجســيمية. وعمومًا فإن العناصر الثقيلة قد تتكون لعدة أجزاء من الثانيــة فقط قبل أن تضمحل إلى أنوية أصغر وأكثر اســتقرارًا. وعندما تكتســب الأنوية الصغيرة نيوكليونات تكون طاقة الربط النووية للنواة الأكبر أكثر ســالبية، لذا تكون أكثر استقرارًا من مجموع طاقات الربط للأنوية الأخف.

في الجزء القادم، سوف تُستخدم حســابات طاقة الربط النووية لفهم التفاعلات النووية. وطاقة الربط النووية تفسر تحرر الطاقة عند اندماج الأنوية الصغيرة، كما يحدث في النجوم، وانقسام الأنوية الكبيرة كما في اضمحلال العناصر المشعة.

مثــــال 1

فرق الكتلة وطاقة الربط النووية أوجد فرق الكتلة وطاقة الربط النووية للتريتيوم ${}_1^3H$ ، إذا كانت كتلة نظير الهيدروجين (التريتيوم) 3.016049 u، وكتلة ذرة الهيدروجين (مجموع كتلة بروتون وإلكترون) 1.007825 u، وكتلة النيوترون 1.008665 u.

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم

كتلة ذرة الهيدروجين الواحدة = 1.007825 u
كتلة النيوترون الواحد = 1.008665 u
كتلة التريتيوم = 3.016049 u
طاقة الربط النووية 1 u = 931.49 Mev

المجهول

كتلة النيوكليونات والإلكترون الكلية = ؟
فرق الكتلة = ؟
طاقة الربط النووية للتريتيوم = ؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات
الأرقام الصغيرة واستخدام الأسس السالبة.

اجمع كتل ذرة الهيدروجين (بروتون واحد وإلكترون واحد) ونيوترونين.

كتلة ذرة هيدروجين + كتلة نيوترونين تساوي:

$$\begin{array}{r} 1.007825\ u \\ +\ 2.017330\ u \\ \hline 3.025155\ u \end{array}$$

كتلة النيوكليونات الكلية:

فرق الكتلة يساوي كتلة التريتيوم الفعلية ناقص مجموع كتل مكوّناته

كتلة التريتيوم – كتلة النيوكليونات تساوي:

$$\begin{array}{r} 3.016049\ u \\ -\ 3.025155\ u \\ \hline -0.009106\ u \end{array}$$

فرق الكتلة :

طاقة الربط النوية هي الطاقة المكافئة لمقدار فرق الكتلة.

$E =$ (طاقة الربط النووية لِـ 1 u) (فرق الكتلة u)

$E = (931.49\ \text{MeV/u})\ (-0.009106\ \text{u})$ بالتعويض عن فرق الكتلة = -0.009106 u

$E = -8.4821\ \text{MeV}$ طاقة الربط لكل u = 931.49 MeV

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس الكتلة بوحدة u، وتقاس الطاقة بوحدة MeV.
- **هل للاشارة معنى؟** يجب أن تكون طاقة الربط سالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** اعتمادًا على الشكل 2-6 فإن طاقة الربط لكل نيوكليون في المدى بين2 MeV− و3 MeV−، لذلك فالجواب للنيكليونات الثلاثة منطقي.

مسائل تدريبية

استخدم القيم المبينة لحل المسائل التالية:

وكتلة ذرة الهيدروجين (مجموع كتلة بروتون وإلكترون) = 1.007825 u، وكتلة النيوترون = 1.008665 u، و 1u = 931.49 MeV

5. كتلة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ 12.0000 u. احسب:
a. فرق الكتلة.
b. طاقة الربط النووية بوحدة MeV

6. نظير الهيدروجين الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد يسمى ديوتيريوم، كتلة ذرته 2.014102 u. ما مقدار:
a. نقص كتلته؟
b. طاقة الربط للديوتيريوم بوحدة MeV؟

7. يحتوي نظير النيتروجين $^{15}_{7}N$ على سبعة بروتونات وثمانية نيوترونات، وكتلته 15.010109 u. احسب:
a. فرق الكتلة لهذه النواة.
b. طاقة الربط النووية لهذه النواة.

8. إذا كانت الكتلة الذرية لنظير الأكسجين $^{16}_{8}O$ تساوي 15.994915 u. ما مقدار:
a. فرق الكتلة لهذا النظير؟
b. طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

بعض المعارف الأساسية في مجالات محددة في الفيزياء قادت إلى إجراء تطبيقات بصورة سريعة كما في مجال الفيزياء النووية، فبدأ استخدام عنصر الراديوم المشع في الطب خلال عشرين عامًا من اكتشافه. واستخدمت مسارعات البروتون في التطبيقات الطبية بعد أقل من عام من اختراعها. وبدأ التطبيق العسكري للانشطار النووي (انقسام الأنوية) وكان تحت التطوير قبل أن تعرف الأساسيات الفيزيائية. وقد تبعتها التطبيقات السلمية بعد عشر سنوات أو أقل.

1-6 مراجعة

9. الأنوية لاحظ أزواج الأنوية التالية: $^{12}_{6}C$، $^{13}_{6}C$، $^{11}_{6}C$، $^{11}_{5}B$. فيم يتشابه كل زوج منها، وفيم يختلف؟

10. طاقة الربط النووية عندما يضمحل نظير الهيدروجين (التريتيوم) $^{3}_{1}H$ فإنه يطلق جسيم بيتا ويصبح نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$. أي نواة تتوقع أن يكون لها أكبر طاقة ربط نووية سالبة؟

11. الطاقة النووية القوية مدى الطاقة النووية القوية قصير جدًّا؛ بحيث إن النيوكليونات القريبة جدًّا بعضها من بعض تتأثر بهذه القوة. استخدم هذه الحقيقة في تفسير سبب تغلب قوة التنافر الكهرومغناطيسية على قوة التجاذب القوية في الأنوية الثقيلة، مما يجعل النواة غير مستقرة.

12. فرق الكتلة أي النواتين في المسألة 10 لها نقص كتلة أكبر؟

13. فرق الكتلة وطاقة الربط إذا علمت أن كتلة نظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ تساوي 14.003074 u.
a. فما مقدار فرق الكتلة لهذا النظير؟
b. وما مقدار طاقة الربط النووية لهذا النظير؟

14. التفكير الناقد في النجوم المتقدمة في العمر، لا ينتج فقط الهيليوم والكربون عن طريق اتحاد أنوية مترابطة معًا بشدة، ولكن ينتج أيضًا الأكسجين (Z = 8) والسليكون (Z = 14). ما العدد الذري للنواة الثقيلة التي يمكن أن تتكون بهذه الطريقة؟ فسّر.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية Nuclear Decay and Reactions

الأهداف

- تصنف ثلاثة أنماط للاضمحلال الإشعاعي.
- تحل معادلات نووية.
- تحسب كمية المادة المشعة المتبقية ونشاطها بعد فترة زمنية محددة.
- تعرف الاندماج النووي والانشطار النووي.
- تصف عمل المفاعل النووي.

المفردات

المواد المشعة
اضمحلال ألفا
اضمحلال بيتا
اضمحلال جاما
التفاعل النووي
عمر النصف
النشاط الإشعاعي
الانشطار النووي
التفاعل المتسلسل
الاندماج النووي

في عام 1896م استعمل بيكرل مركبات تحتوي على عنصر اليورانيوم. و فوجئ أن لون الصفائح الفوتوجرافية التي كانت تغطي اليورانيوم وتحجب الضوء عنه أصبح ضبابيًّا، وهو ما حدث أيضًا للصفائح التي تعرضت جزئيًّا لليورانيوم القريب من موقع اليورانيوم. ودل هذا اللون الضبابي على أن نوعًا من الأشعة المنبعثة من اليورانيوم قد نفذت من الصفيحة التي تغطيه. ووجد أن بعض المواد الأخرى غير اليورانيوم أو مركباته قادرة على أن تطلق مثل هذه الأشعة النافذة. والمواد التي تطلق مثل هذا النوع من الإشعاع تسمى **المواد المشعة**. وبسبب انبعاث جسيمات من هذه المواد فإنها تضمحل، وتضمحل النواة عندما تنتقل تلقائيًّا من حالة أقل استقرارًا إلى حالة أكثر استقرارًا.

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

في عام 1899م اكتشف العالم رذرفورد ورفاقه أن عنصر الرادون يتحول تلقائيًّا إلى نواة أخف ونواة هيليوم خفيفة. وفي العام نفسه اكتشف أيضًا أن مركبات اليورانيوم تنتج ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع فصل بينها تبعًا لقدرتها على اختراق المواد. وقد أطلق عليها اسم إشعاعات α (ألفا)، و β (بيتا) و γ (جاما). حيث يمكن إيقاف جسيمات ألفا عند اصطدامها بصفيحة رقيقة من الورق، بينما يلزم سمك 6 mm من الألومنيوم لإيقاف معظم جسيمات بيتا، ويلزم سمك عدة سنتمترات من الرصاص لإيقاف إشعاع جاما.

اضمحلال ألفا جسيم ألفا عبارة عن نواة هيليوم ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$. وعملية انبعاث جسيم ألفا من النواة تسمى **اضمحلال ألفا**. العدد الكتلي لجسيم ألفا ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ هو 4، والعدد الذري له 2. فعندما تطلق النواة جسيم ألفا فإن عددها الكتلي A ينقص بمقدار 4، بينما ينقص عددها الذري Z بمقدار 2، فيتحوّل العنصر إلى عنصر مختلف. وعلى سبيل المثال يتحوّل اليورانيوم ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ إلى ثوريوم ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ نتيجة اضمحلال ألفا.

اضمحلال بيتا جسيمات بيتا عبارة عن إلكترونات تنبعث من النواة، ولكن النواة لا تحتوي على إلكترونات. فمن أين تأتي هذه الإلكترونات؟ يحدث **اضمحلال بيتا** عندما يتحول النيوترون إلى بروتون داخل النواة. وفي جميع التفاعلات يجب أن تبقى الشحنة محفوظة، لذا يجب أن تساوي الشحنةُ قبل التفاعل الشحنةَ بعد التفاعل؛ فعندما تحدث عملية اضمحلال بيتا يتحول النيوترون إلى بروتون وينتج أيضًا إلكترون. وفي هذا الاضمحلال تنتهي نواة عدد نيوتروناتها N وعدد بروتوناتها Z متحولة إلى نواة جديدة عدد نيوتروناتها N–1 وعدد بروتوناتها Z+1، مع ظهور جسيم آخر يدعى ضديد النيوترينو مرافق لاضمحلال بيتا.

اضمحلال جاما ينتج **اضمحلال جاما** نتيجة إعادة توزيع الطاقة داخل النواة. وإشعاع γ عبارة عن فوتونات ذات طاقة عالية. ونتيجة لذلك لا يتغير العدد الكتلي أو العدد الذري للنواة المضمحلة. ويرافق إشعاع جاما عادة اضمحلال ألفا أو بيتا. وقد تم تلخيص أنواع الاضمحلال الثلاثة للإشعاع في **الجدول 1–6**.

تمر العناصر المشعة خلال سلسلة الاضمحلالات الإشعاعية لتكوّن نواة مستقرة في النهاية؛ فاليورانيوم ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ مثلاً يخضع إلى 14 اضمحلالاً قبل أن ينتج نظير الرصاص ${}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ المستقر.

تجربة عملية

كيف أحمي نفسي من النشاط الإشعاعي؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الجدول 1–6		
أنواع الإشعاع الثلاثة		
جسيم ألفا	جسيم بيتا	إشعاع جاما
شحنة 2 +	شحنة 1-	متعادل
أقل نفاذًا	طاقة متوسطة	أكبر نفاذًا
تحوّلات النواة: $A \rightarrow A-4$ $Z \rightarrow Z-2$ $N \rightarrow N-2$	تحوّلات النواة: $A \rightarrow A$ $Z \rightarrow Z+1$ $N \rightarrow N-1$	تحوّلات في الطاقة فقط: $A \rightarrow A$ $Z \rightarrow Z$ $N \rightarrow N$

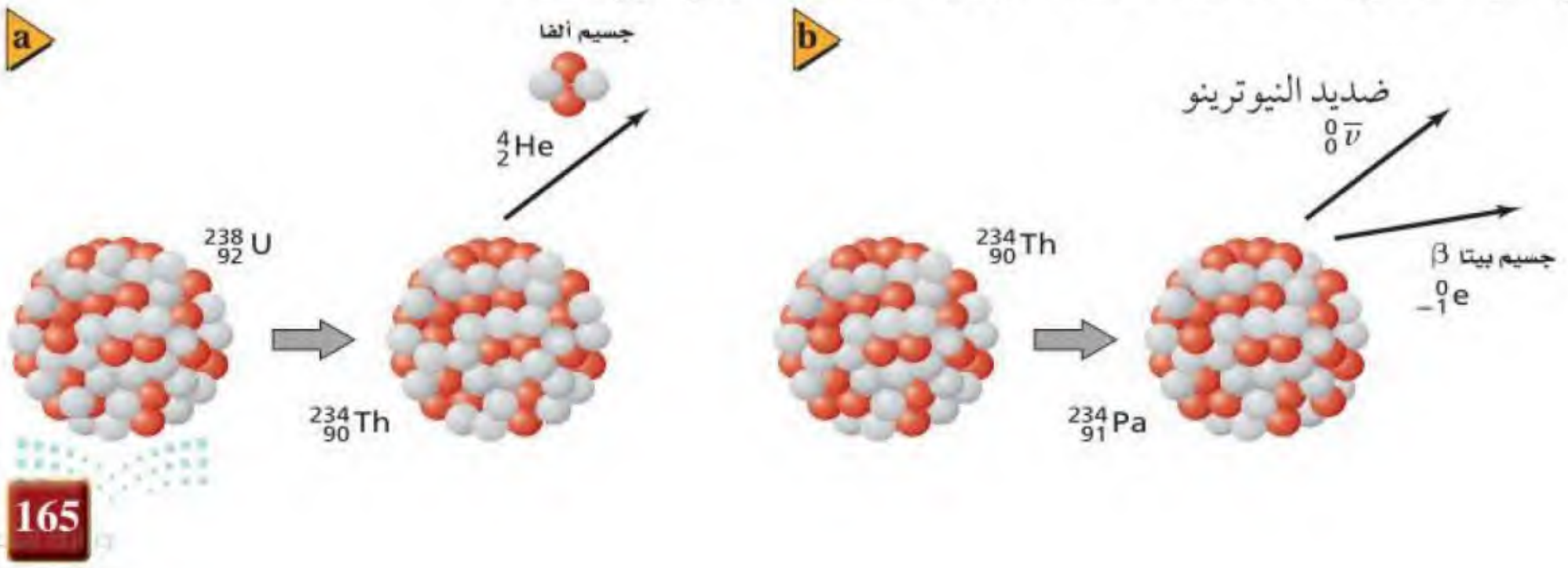
التفاعلات والمعادلات النووية
Nuclear Reactions and Equations

يحدث **التفاعل النووي** عندما تتغـير طاقة النواة أو عدد النيوترونات أو عدد البروتونات فيها. إن بعض التفاعلات النووية ينتج عنها طاقة، كما يحدث في التفاعلات الكيميائية، بينما تحدث تفاعلات أخرى فقط عندما تزود النواة بطاقة. وأحد أنواع التفاعل النووي هو انبعاث جسيمات بواسطة النشاط الإشعاعي للنواة المشعة. ويطلق التفاعل طاقة زائدة على شكل طاقة حركية للجسيمات المنبعثة، ويبين **الشكل 3–6** نوعي التفاعلات. ويمكن وصف التفاعلات النووية باسـتخدام الكلمات، والتمثيل البياني، أو المعادلات. والرموز المستخدمة للأنوية المشاركة في المعادلات النووية تجعل حسابات العدد الذري والعدد الكتلي في التفاعلات النووية أكثر سـهولة؛ حيث يمكن التعبير عن التفاعل النووي الموضح في **الشكل 3a–6** كما يلي: $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$ مجموع العدد الكلي للجسيمات النووية يبقى ثابتًا خلال التفاعل. لذلك فإن مجموع الأعداد العلوية في كل طرف يجب أن يتساوى: $238 = 234 + 4$. والشحنة الكلية أيضًا محفوظة، لذلك فإن مجموع الأعداد السفلية في كل طرف يجب أن يتساوى أيضًا: $92 = 90 + 2$. وخلال اضمحلال بيتا ينتج إلكـترون $^{0}_{-1}e$ ، وضديد النيوترينو $^{0}_{0}\overline{\nu}$. (رمز النيوترنيو هو الحرف الإغريقي نيو مرفقًا بالخط الصغير أعلاه، والذي يشـير إلى جسيم ضديد المادة). وعملية تحوّل ذرة الثوريوم بانبعاث جسـيم بيتا أيضًا الموضحة في **الشكل 3b–6** يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\overline{\nu}$$

لاحظ أن مجموع الأعداد العلوية في طرف المعادلة الأيسر يساوي مجموع الأعداد العلوية في الطرف الأيمن للمعادلة. وهناك أيضًا مساواة بين الأعداد السفلية في طرفي المعادلة.

■ **الشكل 3–6** انبعاث جسيم ألفا بواسطة عنصر اليورانيوم 238 ينتج عنه تكوّن الثوريوم 234 **(a)**. وانبعاث جسيم بيتا بواسطة عنصر الثوريوم 234 ينتج تكوّن البروتكتانيوم 234 **(b)**.



مثـــــال 2

اضمحلال ألفا واضمحلال بيتا اكتب المعادلة النووية لكل من العمليات الإشعاعية التالية:

a. نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، يشع جسيم ألفا ليتحول إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$

b. نظير الرصاص المشع، $^{209}_{82}Pb$ يشع جسيم بيتا وضديد النيوترينو ليتحول إلى نظير البزموث $^{209}_{83}Bi$

1 تحليل المسألة ورسمها

	المعلوم	المجهول
a.	$^{226}_{88}Ra \rightarrow$ جسيم α + $^{222}_{86}Rn$ جسيم $\alpha = {}^{4}_{2}He$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟
b.	$^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi +$ جسيم β + ضديد النيوترينو جسيم $\beta = {}^{0}_{-1}e$، ضديد النيوترينو $= {}^{0}_{0}\overline{\nu}$	هل هذا الاضمحلال ممكن؟

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. عوّض $^{4}_{2}He$ لجسيم α

$$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn$$

b. عوّض $^{0}_{-1}e$ لجسيم β و $^{0}_{0}\overline{\nu}$ لضديد النيوترينو

$$^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$$

3 تقويم الجواب

- **هل عدد النيوكليونات محفوظ؟**

a. 226 = 222 + 4، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ. **b.** 209 = 209 + 0 + 0، لذلك فإن العدد الكتلي محفوظ.

- **هل الشحنة محفوظة؟**

a. 88=2+86، لذلك فإن الشحنة محفوظة. **b.** 82=83−1+0، لذلك فإن الشحنة محفوظة.

مسائل تدريبية

15. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير اليورانيوم المشع، $^{234}_{92}U$ إلى نظير الثوريوم $^{230}_{90}Th$ بانبعاث جسيم ألفا.

16. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير الثوريوم المشع $^{230}_{90}Th$ إلى نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ ، بانبعاث جسيم ألفا.

17. اكتب المعادلة النووية لتحول نظير الراديوم المشع $^{226}_{88}Ra$ إلى نظير الرادون $^{222}_{86}Rn$ ، بانبعاث جسيم α.

18. يمكن أن يتحول نظير الرصاص المشع $^{214}_{82}Pb$ إلى نظير البزموث المشع $^{214}_{83}Bi$، بانبعاث جسيم β وضديد ونيوترينو. اكتب المعادلة النووية.

19. يحدث اضمحلال لنظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ عندما ينبعث منه جسيم β فيتحول إلى نظير النيتروجين $^{14}_{7}N$. اكتب المعادلة النووية التي توضح ذلك.

عند اضمحلال جسيمات ألفا وبيتا تظهر في الطرف الأيسر من المعادلة نواة واحدة تضمحل إلى نواة أخرى، بالإضافة إلى جسيم واحد أو أكثر من الجسيمات المشعة التي تظهر في الطرف الأيمن من المعادلة. مثال آخر على التحوّل، يحدث عندما يصطدم جسيم مع نواة ينتج عنه غالبًا انبعاث جسيمات أخرى، كما في المعادلة $^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N$. ومثل هذه التفاعلات موضحة في المثال التالي، وكذلك في مناقشة موضوع الانشطار النووي لاحقًا في هذا الفصل.

مثـــال 3

حل المعادلات النووية عندما قُذف غاز النيتروجين بجسيمات α انبعثت بروتونات ذات طاقة عالية. ما النظير الجديد الناتج؟

1 تحليل المسألة ورسمها

المعلوم

نيتروجين $= {}^{14}_{7}\mathrm{N}$، $\alpha = {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

بروتون $= {}^{1}_{1}\mathrm{H}$

المجهول

ما النظير الذي يتولد في الطرف الأيمن للمعادلة؟

دليل الرياضيات

حل المعادلات.

2 إيجاد الكمية المجهولة

اكتب معادلة التفاعل النووي.

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$$

حل المعادلة بالنسبة للعدد Z والعدد A.

$$Z = 2 + 7 - 1 = 8 \qquad A = 4 + 14 - 1 = 17$$

استخدم الجدول الدوري. العنصر ذو العدد الذري $Z = 8$ هو الأكسجين. والنظير يجب أن يكون ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$.

3 تقويم الجواب

- **هل المعادلة موزونة؟** عدد النيوكليونات محفوظ: $17 + 1 = 14 + 4$. الشحنة محفوظة: $8 + 1 = 7 + 2$

مسائل تدريبية

20. استخدم الجدول الدوري لإكمال المعادلتين النوويتين التاليتين:

a. ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow ? + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$ **b.** ${}^{55}_{24}\mathrm{Cr} \longrightarrow ? + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

21. اكتب المعادلة النووية لتحوّل نظير السيبورجيوم ${}^{263}_{106}\mathrm{Sg}$ إلى نظير روثيرفورديوم ${}^{259}_{104}\mathrm{Rf}$ بانبعاث جسيم ألفا.

22. اصطدم بروتون بنظير النيتروجين ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$، فتكوّن نظير جديد وجسيم ألفا. ما النظير الناتج؟ اكتب معادلة نووية تبين ذلك.

23. اكتب المعادلات النووية لاضمحلال بيتا للنظائر التالية:

a. ${}^{210}_{82}\mathrm{Pb}$ **b.** ${}^{210}_{83}\mathrm{Bi}$ **c.** ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ **d.** ${}^{239}_{93}\mathrm{Np}$

عمر النصف

الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف ذرات أي كمية من نظير العنصر المشـــع تسمى **عمر النصف** لذلك العنصر. بعد مرور كل عمر نصف يقل عـــدد الأنوية غير المضمحلة إلى النصف، كما هو موضح في **الشكل 4–6**. ولكل نظير مشع عمر نصف خاص به.

فعمر النصف لنظير الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ مثلاً 1600 سنة. وبذلك فإن كل 1600 سنة يضمحل نصف الكمية المعطاة من الراديوم ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ إلى عنـــصر آخر، هو الرادون، وبعد 1600 ســـنة أخرى يضمحل نصف عينة الراديوم المتبقية. أي أنه بعد مرور 3200 سنة يبقى ربع الكمية الأصلية. وفي المقابل، تضمحل عينة من البولونيوم – 210 إلى ربع الكمية الأصلية خلال 276 يومًا فقط.

الشـكل 4–6 اضمحلال النواة المشعة إلى حالات أكثر استقرارًا.



الجدول 2–6

عمر النصف لنظائر مختارة

العنصر	النظير	عمر النصف	الإشعاع الناتج
هيدروجين	$^{3}_{1}H$	12.3 سنة	β
كربون	$^{14}_{6}C$	5730 سنة	β
كوبلت	$^{60}_{27}Co$	30 سنة	β, γ
يود	$^{131}_{53}I$	8.07 أيام	β, γ
رصاص	$^{212}_{82}Pb$	10.6 ساعات	β
بولونيوم	$^{194}_{84}Po$	0.7 ثانية	α
بولونيوم	$^{210}_{84}Po$	138 يومًا	α, γ
يورانيوم	$^{235}_{92}U$	7.1×10^{8} سنة	α, γ
يورانيوم	$^{238}_{92}U$	4.51×10^{9} سنة	α, γ
بلوتونيوم	$^{236}_{94}Pu$	2.85 سنة	α
بلوتونيوم	$^{242}_{94}Pu$	3.79×10^{5} سنة	α, γ

من خلال أعمار النصف للنظائر المختارة الموضحة في **الجدول 2–6**. إذا عرفت الكمية الأصلية للمادة المشعة وعمر نصفها فإنك تستطيع حساب الكمية المتبقية بعد عدد معين من أعمار النصف.

الكمية المتبقية من النظير المشع $N=N_0(1/2)^n$

N الكمية المتبقية

N_0 الكمية الأولية (الأصلية)

n عدد فترات عمر النصف التي انقضت $n=\frac{t}{t_{1/2}}$

كمية النظير المشع المتبقية في عينة تساوي الكمية الأولية (الأصلية) مضروبة في الثابت $\left(\frac{1}{2}\right)$ مرفوعًا لأس يساوي عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

تستخدم أعمار النصف للنظائر المشعة لتحديد عمر الأجسام. فيمكن إيجاد عمر عينة من مادة عضوية بقياس كمية الكربون 14 المتبقية. ويمكن حساب عمر الأرض اعتمادًا على اضمحلال اليورانيوم إلى الرصاص.

ويسمى معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية **النشاط الإشعاعي**. ويتناسب النشاط الإشعاعي طرديًّا مع عدد الذرات المشعة الموجودة. لذلك فإن النشاط الإشعاعي لعينة تقل أيضًا بمقدار النصف خلال عمر نصف واحد. تأمل النظير $^{131}_{53}I$ الذي عمر النصف له 8.07 أيام. فإذا كان النشاط الإشعاعي لعينة من اليود–131 تساوي 4×10^{5} اضمحلال/ ثانية، فسوف يكون نشاطها الإشعاعي بعد انقضاء 8.07 أيام أخرى 2×10^{5} اضمحلال/ ثانية؛ فالنشاط الإشعاعي لعينة يرتبط أيضًا مع عمر النصف. فعمر النصف الأقصر يعني نشاطًا إشعاعيًا أكبر. فإذا عرفت النشاط الإشعاعي لمادة معينة وكتلة تلك المادة فإنك تستطيع تحديد عمر النصف لها. ووحدة اضمحلال لكل ثانية في النظام العالمي للوحدات SI هي البيكرل(Bq).

مسائل تدريبية

ارجع إلى الشكل 4–6 والجدول 2–6 لحل المسائل التالية:

24. تولدت عينة تريتيوم $^{3}_{1}H$ كتلتها 1.0 g. ما كتلة التريتيوم التي تتبقى بعد مرور 24.6 سنة؟

25. عمر النصف لنظير النبتونيوم $^{238}_{93}Np$ هو 2.0 يوم. فإذا أنتجت عينة كتلتها 4.0 g من النبتونيوم يوم الإثنين، فما الكتلة التي ستبقى منه يوم الثلاثاء من الأسبوع التالي؟

26. تم شراء عينة من البولونيوم 210 بتاريخ 9/ 1، وكان نشاطها الإشعاعي 2×10^{6} Bq. استخدمت العينة لإجراء تجربة في 6/ 1 من السنة التالية. ما النشاط الإشعاعي المتوقع للعينة؟

27. استخدم التريتيوم $^{3}_{1}H$ في البداية في بعض ساعات اليد لتوليد التوهج الفلوري؛ لكي تستطيع قراءة الوقت في الظلام. إذا كان سطوع التوهج يتناسب طرديًّا مع النشاط الإشعاعي للتريتيوم، فكيف يكون سطوع هذه الساعة، بالمقارنة مع سطوعها الأصلي عندما يكون عمر الساعة ست سنين؟

تجربة عملية

كيف تستطيع إيجاد عمر النصف لنظير مشع ذي فترة حياة قصيرة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

النشاط الإشعاعي الاصطناعي Artificial Radioactivity

يمكن إنتاج نظائر مشـعة من النظائر المسـتقرة بقذفها بجسـيمات α، أو ببروتونات، أو إلكترونات أو أشـعة جاما؛ حيث تطلق الأنوية غير المسـتقرة الناتجة إشـعاعات، حتى تتحول إلى نظائر مستقرة. ويمكن للأنوية المشعة أن تبعث جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وإشـعاع جاما. بالإضافة إلى النيوترينو، وضديد نيوترينـو، والبوزترونات (البوزترون عبارة عن إلكترون موجب الشحنة ${}^{0}_{+1}e$).

النظائر المشـعة المنتجة اصطناعيًّا تستخدم غالبًا في البحوث الدوائية والطبية. ففي العديد من التطبيقـات الطبية يعطـى المرضى نظائر مشـعة تمتصها أعضاء محددة من الجسـم. ويستخدم الأطباء عدّاد الإشعاع لمراقبة الإشعاع في العضو الذي يخضع للعلاج. وبعض النظائر المشعة تتعلق بالجزيء الذي سيُمتص في منطقة العلاج، كما يحدث في تطبيق انبعاث البوزوترون في عملية التصوير الإشعاعي المقطعي الذي يعرف بشكل أفضل بمسح PET (التصوير الطبقي) للدماغ، كما هو موضح في **الشكل 5–6**.

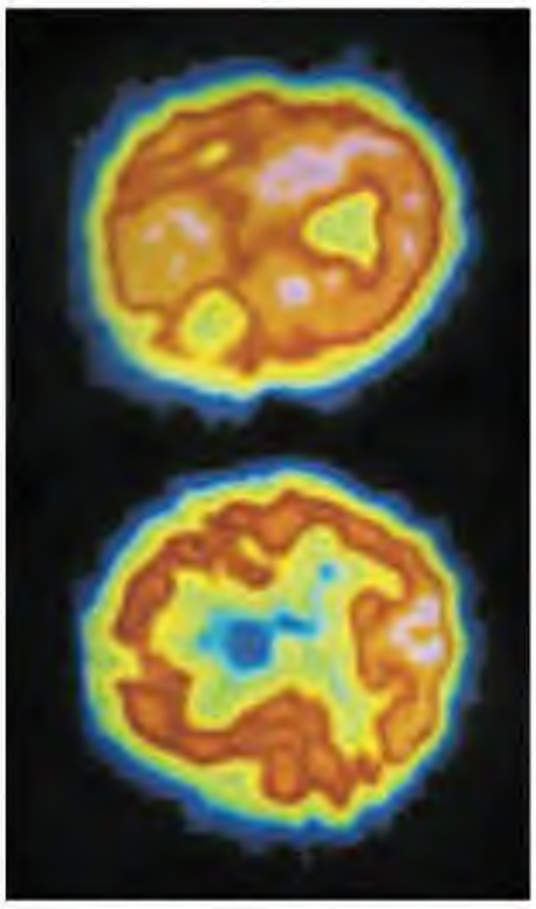
وكثيرًا ما يستخدم الإشعاع لتدمير الخلايا السرطانية؛ فهذه الخلايا أكثر حساسية لتأثيرات التدمير الإشـعاعي؛ لأنها تنقسـم غالبًا أكثر من الخلايا الطبيعية. وتستخدم أشعة جاما المنبعثـة من نظير الكوبلت ${}^{60}_{27}Co$ لمعالجة مرضى السرطان، كما يحقن نظير اليود المشـع في الغدة الدرقية المصابة بالسرطان.

وفي تطبيق ثالث، توجَّه الجسـيمات الناتجة في مسارع الجسيمات على شكل شعاع إلى داخل النسيج بطريقة معينة، بحيث تضمحل في النسيج المصاب بالسرطان، فتدمر خلاياه.

تطبيق الفيزياء

العلاج بالأشعة

أشعة جاما تدمر الخلايا السرطانية والخلايا السليمة، لذلك يجب أن يُوجه الإشعاع مباشرة إلى الخلايا السرطانية فقط



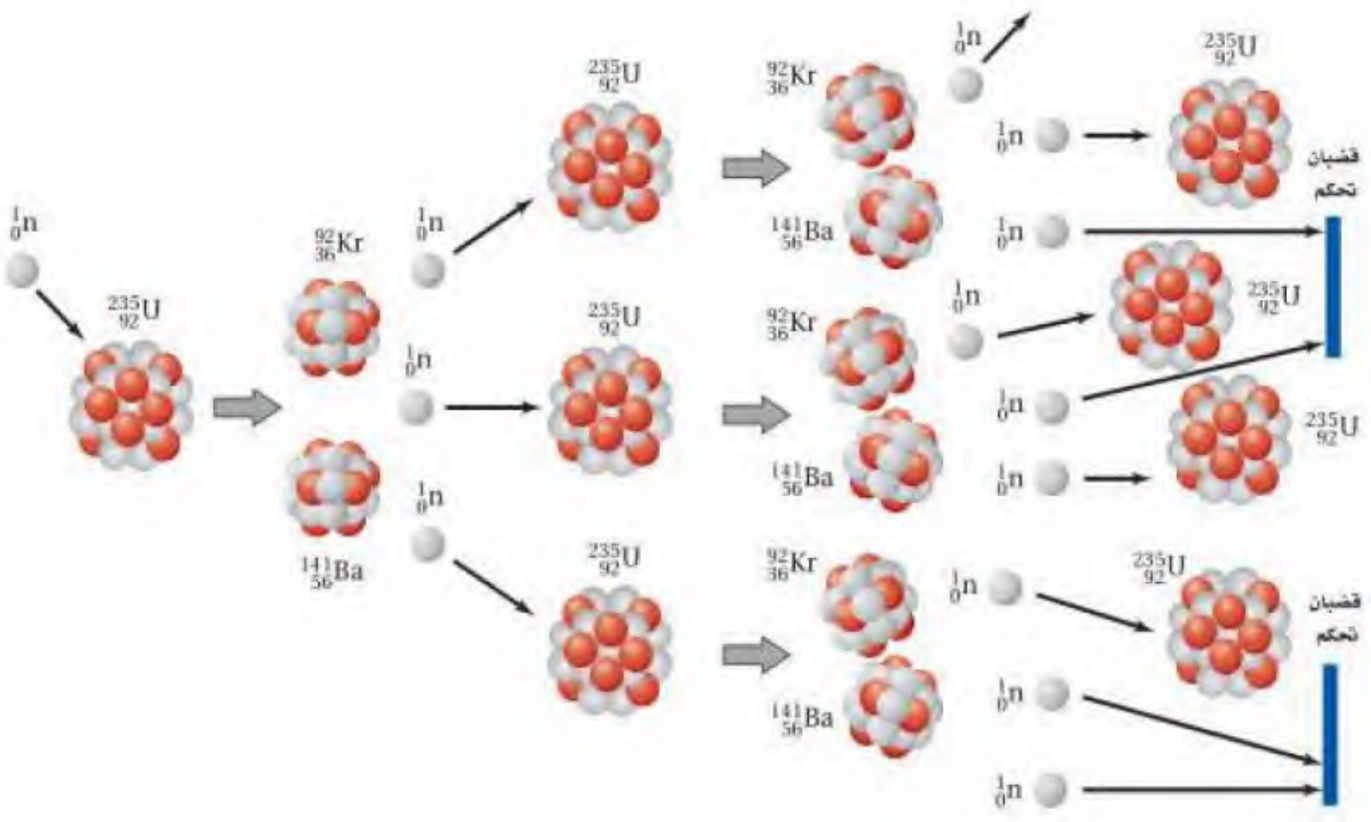
الشكل 5–6 لإجراء مسح PET يحقن الأطباء الجسم بسائل يحوي نظائر مشعة مثل ${}^{18}_{9}F$ ترتبط مع الجزيء الذي سيتركز في الأنسجة الخاضعة للعلاج. وعندما يضمحل ${}^{18}_{9}F$ ينتج بوزترونات تفنى عندما تتحد مع الإلكترونات منتجة أشعة جاما، التي يكشف عنها بجهاز مسح PET. بعد ذلك يكوّن الحاسوب خريطة ثلاثية الأبعاد لتوزيع النظير. والصورة العليا دماغ طبيعي أما الصورة السفلية فهي لدماغ شخص يعاني من داء الخرف، وهما مختلفان.

الانشطار النووي Nuclear Fission

تمت مناقشة إمكانية الحصول على أشكال مفيدة للطاقة الناتجة عن التفاعلات النووية عام 1930م، وجاءت معظم النتائج الواعدة نتيجة قذف المواد بالنيوترونات. وفي إيطاليا عام 1934م أنتج كل من العالمين أنريكو فيرمي، وأميليو سـيرجي العديد من النظائر المشـعة الجديدة؛ وذلك بقذف اليورانيوم بالنيوترونات. وبيَّن كل من الكيميائي الألماني أوتوهان وفرتز ستراسـمان عام 1939م أن الذرات الناتجة سلكت كيميائيًّا سلوك عنصر الباريوم. وبعد أسبوع آخر توقع ليز ميتنر وأوتو فرش أن قذف نواة اليورانيوم بالنيوترونات يسبب انقسـامها إلى نواتين أصغر مع إنتاج طاقة كبيرة جدًّا. ويسـمى مثل هذا الانقسام للنواة الثقيلة إلى نواتين أو أكثر **الانشطارالنووي**. وقد أدرك الكثير من العلماء على الفور إمكانية ألا يكون الانشـطار النووي مصـدرًا للطاقة فقط، ولكنه أيضًا يمكن أن يكون أسـلحة متفجرة.

ويحدث الانشـطار النووي لليورانيـوم عندما تنشـطر النواة إلى نواتـين أو أكثر محرّرة نيوترونات وطاقة. فنواة نظير اليورانيوم تنشـطر إلى نـواتي عنصري الباريوم والكربتون عنـد قذفها بالنيوترونات، وهذه نتائج مثالية للانشـطار. والمعادلة النووية التالية توضح هذا التفاعل: ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{92}_{36}Kr + {}^{141}_{56}Ba + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\ MeV$

ويمكن إيجاد الطاقة المحررة نتيجة كل انشـطار بحسـاب كتل الذرات في كل من طرفي المعادلة. ففي تفاعل اليورانيوم 235، تكون الكتلة الكلية في الطرف الأيمن للمعادلة أقل بمقـدار 0.215 u من الكتلة الكلية في الطرف الأيسر. والطاقـة المكافئة لهذه الكتلة هي 3.21×10^{-11} J، أو 2.00×10^{2} Mev. وهذه الطاقة تظهر على شكل طاقة حركية لنتائج الانشطار.



■ **الشكل 6–6** تفاعل الانشطار النووي المتسلسل لليورانيوم235 الذي يحدث في قلب المفاعل النووي.



■ **الشكل 7–6** يعود التوهج إلى تأثير كرينكوف، الذي يحدث عندما تدخل جسيمات إلى الماء بسرعة عالية جدًا تتجاوز سرعة الضوء في الماء. وتبعث الإلكترونات فوتونات تسبّب توهجًا للماء عندما توضع قضبان الوقود داخله. ولا ينتج هذا التوهج عن النشاط الإشعاعي.

النيوترونـات اللازمة لإحداث الانشـطارات الإضافية لنوى اليورانيـوم $^{235}_{92}U$ يمكن أن تكـون هي ذاتها النيوترونـات التي نتجت عند بدء عملية الانشـطار. فعندما يُحدث النيوترون الواحد انشـطارًا نوويًّا يحرر ذلك الانشطار ثلاثة نيوترونات، كل منها يستطيع أن يُحدث انشطارًا جديدًا، وهكذا. وهذه العملية المستمرة في تفاعلات الانشطار المتكررة التي تسـبب تحرير نيوترونات من تفاعلات الانشطار السابقة تسمى **التفاعل المتسلسل**. ويوضحها **الشكل 6–6**.

الربط مع الصحة تتشـابه الصواريخ ذات الـرؤوس النوويـة / الهيدروجينية مع السـموم والمؤثرات العقلية بأنها طرق ووسـائل لتدمير الدول، وانطلاقًا من مسـؤوليتك وواجبك الديني ثم الوطني سـاهم بالتصدي لآفة المؤثرات العقلية والسموم وذلك بتقديم رسـالة توعوية سواءً من خلال وسائل التواصل الاجتماعي أو المشاركة بالحملات التوعوية التي تطلقها مديرية مكافحة المخـدرات وغير ذلك من البرامج التي تدعمها المملكة في هذا المجال.



المفاعلات النووية Nuclear Reactors

لإحداث تفاعل متسلسل تحت السيطرة بحيث تستخدم الطاقة الناتجة عنه، تحتاج النيوترونات إلى التفاعل مع اليورانيوم المنشـطر بمعدل مناسـب؛ فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تتحرك بسرعات عالية جدًّا، لذا تسمى النيوترونات السريعة. وبالإضافـة إلى ذلك فاليورانيـوم الذي يوجد طبيعيًّا يحتوي عـلى أقل من 1% من نظير

تطبيق الفيزياء

مفاعل الأبحاث النووية منخفض الطاقة (LPRR)

يهدف مشروع مفاعل الأبحاث النووية منخفض الطاقة (LPRP) لإنشاء أول مفاعل نووي في المملكة العربية السعودية، وتطوير ونقل الصناعة النـوويـة المحلية المتـوافقـة مع رؤية 2030؛ وذلك من خلال إتاحة مشاركة الشركات الوطنية مع بيوت الخبرة العالمية في تصنيع بعض المكونات النووية الهامة كتصنيع حوض قلب المفاعل.

اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وأكثر من 99% من نظير اليورانيوم $^{238}_{92}U$. وعندما تمتص نواة $^{238}_{92}U$ نيوترونًا سريعًا لاتنشطر، ولكنها تصبح نظيرًا جديدًا $^{239}_{92}U$. إن امتصاص النيوترونات بواسطة $^{238}_{92}U$ يمنع معظم النيوترونات من الوصول إلى ذرات $^{235}_{92}U$ الانشطارية. ومن ثم فمعظم النيوترونات المحررة نتيجة انشطار $^{235}_{92}U$ غير قادرة على إحداث انشطار لذرة أخرى من $^{235}_{92}U$.



■ **الشكل 8–6** في محطة الطاقة النووية تتحول الطاقة الحرارية المتحررة من التفاعلات النووية إلى طاقة كهربائية.

وللسيطرة على التفاعل يتفتت اليورانيوم إلى قطع صغيرة توضع في مهدئ؛ وهو مادة يمكن أن تبطئ النيوترونات السريعة. وعندما يصدم النيوترون بذرة خفيفةينقل زخمه وطاقته إلى تلك الذرة. وبهذه الطريقة يخسر النيوترون طاقة. وهكذا فإن المهدئ يبطئ الكثير من النيوترونات السريعة إلى سرعات يمكن عندها امتصاصها بسهولة أكثر بواسطة $^{235}_{92}U$ مقارنة مع $^{238}_{92}U$. والعدد الأكبر من النيوترونات البطيئة يزيد إلى حد كبير من احتمال انشطار نواة $^{235}_{92}U$، وقد يحدث تفاعلاً آخر. وإذا توافرت كمية كبيرة من نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ في العينة يمكن أن يحدث تفاعل متسلسل. ولزيادة نظير اليورانيوم القابل للانشطار يمكن تخصيب اليورانيوم؛ وذلك بإضافة كمية أكبر من $^{235}_{92}U$، علمًا بأن نوعي اليورانيوم يستخدمان في المفاعلات النووية. مفاعل الماء المضغوط هو أحد أنواع المفاعلات النووية، ويحتوي على 200 طن متري $(200\times10^3\ kg)$ من اليورانيوم مغلّفة بإحكام بمئات القضبان الفلزية. ويتم غمر القضبان في الماء، كما في **الشكل 7–6**. ولا يعمل الماء مهدئًا فقط، بل ينقل أيضًا الطاقة الحرارية بعيدًا عن انشطار اليورانيوم. وتوضع قضبان من فلز الكادميوم بين قضبان اليورانيوم، فيمتص الكادميوم النيوترونات بسهولة فيعمل مهدئًا أيضًا. وتتحرك قضبان الكادميوم إلى داخل وخارج المفاعل للتحكم في معدل التفاعل المتسلسل؛ لذلك تسمى هذه القضبان قضبان التحكم. وعندما يتم إدخال قضبان التحكم كليًّا داخل المفاعل تمتص عددًا كافيًا من النيوترونات المتحررة نتيجة التفاعلات الانشطارية، وبذلك تمنع حدوث تفاعل متسلسل آخر. وعند رفعها من المفاعل يزداد معدل الطاقة المحررة؛ بسبب توافر نيوترونات حرة أكثر كافية لاستمرار حدوث التفاعل المتسلسل.

وتسخن الطاقة المتحررة من الانشطار الماء المحيط بقضبان اليورانيوم، لكن الماء نفسه لا يغلي؛ لأنه تحت ضغط كبير جدًّا، يزيد من درجة غليانه. وكما هو موضح في **الشكل 8–6**. يضخ هذا الماء إلى مبدل الحرارة، فيسبب غليان ماء آخر منتجًا بخارًا يعمل على إدارة التوربينات. وهذه التوربينات موصولة بمولدات لتوليد الطاقة الكهربائية.

إن انشطار نواة $^{235}_{92}U$ ينتج ذرات كربتون Kr، وباريوم Ba وبعض الذرات الأخرى في قضبان الوقود. ومعظم هذه الذرات مشعة. وبعد سنة تقريبًا يجب استبدال بعض قضبان اليورانيوم التي لا يمكن إعادة استخدامها في المفاعل، لكنها تبقى مشعة بمقدار كبير، لذا يجب أن تخزّن في موقع آمن. وحاليًّا يتم تطوير أساليب دائمة لتخزين هذه المخلفات الإشعاعية الناتجة.

الاندماج النووي Nuclear Fusion

في عملية **الاندماج النووي** تندمج أنوية كتلها صغيرة لتكوين نواة ذات كتلة كبيرة، كما

تجربة

نمذجة الاضمحلال الإشعاعي

نحتاج إلى 50 قطعة نقدية معدنية لتمثيل 50 ذرة نظير مشع. في هذا النموذج يمثل أحد وجهي القطعة (الشعار) عدمَ اضمحلال النواة.

1. **دوّن** 50 (شعارًا) في البداية.
2. **ضع** القطع النقدية في كأس كبيرة، ثم رج الكأس وأفرغها من القطع. ارفع القطع النقدية التي وجه الكتابة فيها إلى أعلى وضعها جانبًا. وعدّ ودوّن عدد القطع الباقية.
3. **أعد** الخطوة 2 باستخدام القطع النقدية التي كان وجهها العلوي شعارًا في الرمية الأخيرة. بحيث تمثل كل رمية عمر نصف واحد.

التحليل والاستنتاج

4. **مثّل** بيانيًا عدد القطع النقدية في دالة رياضية مع عدد أعمار النصف.
5. **اجمع** النتائج من طلبة آخرين واستخدم المجاميع لعمل تمثيل بياني جديد.
6. **قارن** هذا الرسم البياني مع الرسوم البيانية المفردة. أيها أكثر تطابقًا مع الرسم البياني النظري في الشكل 4–6؟



الشكل 9–6 اندماج الديوتيريوم والتريتيوم لإنتاج الهيليوم. البروتون باللون الأحمر، والنيوترون باللون الرمادي في الشكل.

في **الشكل 9–6**؛ حيث تتحرر طاقة نتيجة هذه العملية. وقد درست في هذا الفصل أن النواة الأكبر تكون طاقة ربطها أكبر، لذا تكون كتلتها أقل من مجموع كتل النيوكليونات الأصغر. وهذا النقص في الكتلة يعتمد على مقدار الطاقة المحررة.

والعمليات التي تحدث في الشمس مثال على عملية الاندماج النووي؛ حيث تندمج أربع أنوية هيدروجين (بروتونات) خلال عدة مراحل لتكوين نواة هيليوم واحدة. إن كتلة أربعة بروتونات أكبر من كتلة نواة الهيليوم الناتجة، والطاقة المكافئة لفرق الكتلة هذه تظهر على شكل طاقة حركية للجسيمات الناتجة، والطاقة المتحررة نتيجة الاندماج الذي يكوّن نواة الهيليوم-4 تساوي 25 MeV، وبالمقارنة مع الطاقة المتحررة من تفاعل كيميائي لجزيء واحد من الديناميت والتي تعادل 20 eV. تقريبًا، نجد أنها أقل مليون مرة تقريبًا من طاقة الاندماج النووي.

وهناك عدة عمليات تحدث من خلالها عملية الاندماج النووي في الشمس، والعملية الأكثر أهمية هي سلسلة بروتون - بروتون.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\nu $$

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + \gamma $$

$$ {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} $$

وأول تفاعلين يجب أن يحدثا مرتين لإنتاج جسيمين ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ يلزمان لإحداث التفاعل الأخير. والنتيجة النهائية (حذف البروتونين الناتجين في المرحلة الأخيرة)، هي أن أربعة بروتونات تنتج ذرة ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ واحدة وبوزيترونين وجسيمي نيوترينو.

إن قوة التنافر بين النوى المشحونة تتطلب أن تكون طاقة النوى المندمجة عالية جدًّا؛ لذلك لا تحدث تفاعلات الاندماج إلا عندما يكون للأنوية كميات هائلة من الطاقة الحرارية. وتحتاج سلسلة بروتون- بروتون إلى درجة حرارة $2 \times 10^{7}\,\mathrm{k}$، كتلك التي وجدت في مركز الشمس. وبنفس الكيفية تحدث تفاعلات الاندماج في القنبلة الهيدروجينية، أو القنبلة الحرارية النووية. فنحصل على درجة الحرارة العالية الضرورية لإحداث التفاعل الاندماجي في هذه القنبلة من انشطار اليورانيوم أو القنبلة الذرية.

2–6 مراجعة

28. **اضمحلال بيتا** كيف يمكن إطلاق إلكترون من النواة في اضمحلال بيتا إذا لم تحتوِ هذه النواة على الإلكترونات؟
29. **التفاعلات النووية** يخضع نظير البولونيوم ${}^{210}_{84}\mathrm{Po}$ لاضمحلال ألفا. اكتب معادلة التفاعل.
30. **عمر النصف** استخدم **الشكل 4 –6** والجدول **2–6** لتقدير عدد الأيام اللازمة لانخفاض نشاطية نظير اليود ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ إلى ثلاثة أثمان الكمية الأصلية.
31. **المفاعل النووي** يستخدم الرصاص واقيًا من الإشعاع. لماذا لا يمكن اعتباره خيارًا جيدًا ليكون مهدئًا في المفاعل النووي؟
32. **الاندماج النووي** يحتوي تفاعل اندماجي واحد على نواتي ديوتيريوم ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$، ويحتوي جزيء الديوتيريوم على ذرتي ديوتيريوم. لماذا لا تتعرض الذرتان لعملية الاندماج؟
33. **طاقة** احسب الطاقة المتحررة في أول تفاعل نووي اندماجي في الشمس.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu} $$

34. **التفكير الناقد** تستخدم بواعث ألفا في كواشف التدخين. فيوضع باعث على أحد ألواح المكثف. وتصطدم جسيمات α باللوح الآخر، ونتيجة لذلك يتولد فرق في الجهد بين اللوحين. فسّر وتوقّع أي اللوحين يكون له جهد موجب أكبر.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–6 وحدات بناء المادة The Building Blocks of Matter

عندما درس الفيزيائيون الأوائل النواة بواسطة الجسيمات ذات السرعات العالية، كان عليهم استخدام جسيمات ألفا من مصادر مشعة. وقد استخدم مجربون آخرون الأشعة الكونية التي تنتج عن عمليات لم تفهم بصورة كاملة حتى الآن في النجوم والمجرات. وفي بداية عام 1930م طُورت أول أجهزة مختبرية استطاعت مسارعة البروتونات وجسيمات ألفا لتكسبها طاقة كبيرة كافية لاختراق نواة الهدف. وفي الوقت الحاضر يستخدم جهازان لهذا الغرض هما: المسارع الخطي، والمسارع الدائري التزامني (السنكروترون).

المسارعات الخطية Linear Acceleration

يستخدم المسارع الخطي لمسارعة البروتونات أو الإلكترونات، ويتكون المسارع من سلسلة من الأنابيب المجوّفة داخل حجرة طويلة مفرغة، وهذه الأنابيب موصولة بمصدر جهد متناوب عالي التردد يولد مجالًا كهربائيًا، كما في **الشكل 10–6**. وتُنتَج البروتونات في مصدر أيوني. وعندما يطبق جهد سالب على الأنبوب الأول تتسارع البروتونات الداخلة له. ولا يوجد مجال كهربائي داخل الأنبوب لكن المجال الكهربائي يوجد في الفجوات بين الأنابيب، لذلك تتحرك البروتونات داخله بسرعة ثابتة. ويعدل كل من طول الأنبوب وتردد الجهد، بحيث عندما تصل البروتونات إلى النهاية البعيدة للأنبوب الأول يصبح جهد الأنبوب الثاني سالبا ويتحول جهد الأنبوب الأول ليصبح موجبا. فيعمل المجال الكهربائي المتكوّن في الفجوة بين الأنابيب على مسارعة البروتونات في الفجوات قبل دخولها إلى داخل الأنبوب الثاني. تستمر هذه العملية بحيث تبقى البروتونات تتسارع في الفجوات بين كل زوج من الأنابيب. تزداد طاقة البروتون بمقدار 10^5 eV بتأثير كل تسارع. وكأن البروتونات تركب على قمة موجة المجال الكهربائي، كما تركب الموجة في المحيط. وفي نهاية المسارع تكون البروتونات قد اكتسبت طاقة عالية تصل إلى تيرا إلكترون فولت.

وهناك طرائق أخرى مماثلة تستخدم لمسارعة الإلكترونات. لاحظ أن هذا النوع من المسارعات يعمل على تسارع الجسيمات المشحونة فقط.

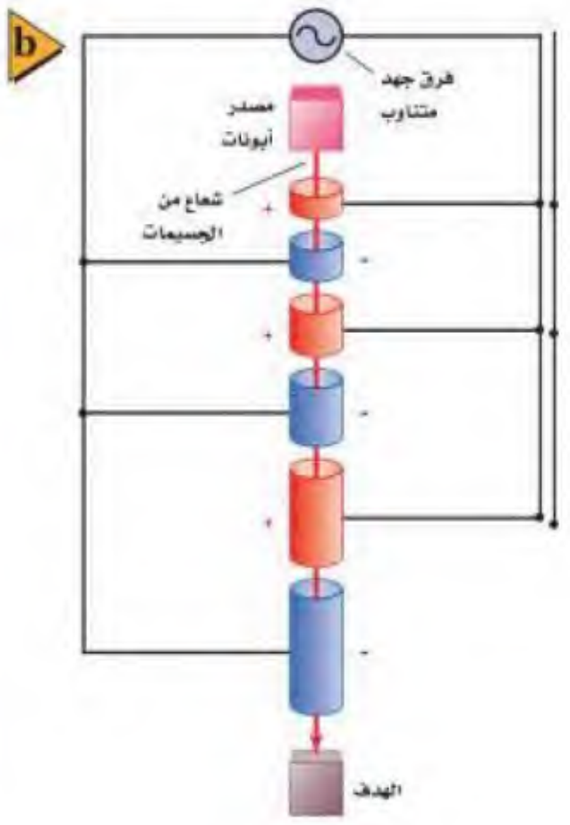
الأهداف

- **تصف** عمل مسارعات الجسيمات وكواشف الجسيمات.
- **تصف** النموذج المعياري للمادة، وتفسر دور حاملات القوة.

المفردات

النموذج المعياري
الكواركات
الليبتونات
حاملات القوة
إنتاج الزوج
القوة النووية الضعيفة





الشكل 10–6 المسارع الخطي في جامعة ستانفورد طوله 3.3 km ويعمل على مسارعة الإلكترونات إلى طاقات 20 GeV (**a**). تتسارع بروتونات في مسارع خطي عن طريق تغيير الشحنة في الأنابيب في أثناء حركة البروتونات (**b**). (القياسيات لا تعتمد مقياسًا).

السنكروترون The Synchrotron

يمكن أن يصنع المسارع ليكون أصغر باستخدام المجال المغناطيسي لثني مسار الجسيمات فيصبح دائريًا. في جهاز السنكروترون تفصل مناطق الثني المغناطيسي بمناطق تسارع، كما في **الشكل 11b–6**. في المناطق المستقيمة يسارع الجهد المتناوب العالي التردد الجسيمات، إن شدة المجال المغناطيسي وطول المسار يتم اختيارهما؛ بحيث تصل الجسيماتِ إلى موقع المجال الكهربائي المتناوب بالضبط عندما تعمل قطبية المجال على تسارعها. إن إحدى أجهزة السنكروترون الضخمة التي تعمل الآن موجودة في مختبر مسارع فيرمي الوطني بالقرب من شيكاجو، الموضح في **الشكل 11a–6** حيث تصل طاقة البروتونات فيه إلى 1 TeV (10^{12} eV). ينتقل شعاع البروتون وشعاع ضديد البروتون في اتجاهات متعاكسة في المسار الدائري (ضديد البروتون جسيم له كتلة البروتون نفسها لكن شحنته معاكسة)، فتتصادم الأشعة في مناطق تفاعلات متعددة، وتدرس النتائج. يبين **الشكل 11c–6** منظرًا خارجيًا مسارع المنظمة الأوربية للأبحاث النووية (سيرن CERN) هو أكبر مختبر للفيزياء الحديثة في العالم أما باقي المسارع فهو موجود تحت الأرض وفي هذا المسارع أجريت تجربة تصادم البروتونات التي نتج عنها ضديد البروتون.

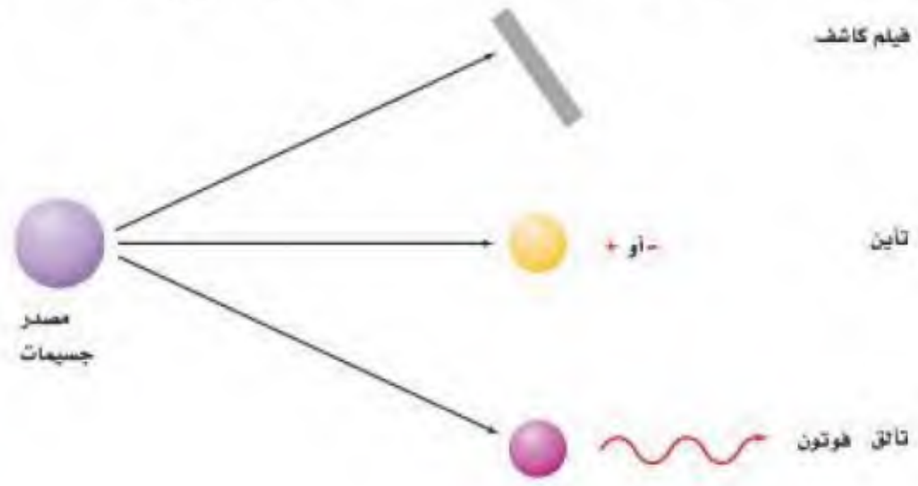


■ **الشكل 11–6** سنكروترون مختبر فيرمي نصف قطره 2 km (**a**). السنكروترون عبارة عن مسارع دائري، تستخدم فيه المغانط لضبط المسار وتسارع الجسيمات (**b**) مسارع سيرين في أوروبا وهو أكبر مسارع في العالم (**C**).

كواشف الجسيمات Particle Detectors

عندما تنتج الجسيمات لا بد من الكشف عن نتائج التصادم؛ أي أنها تحتاج إلى التفاعل مع مادة بطريقة معينة بحيث نستطيع الإحساس بها بحواسنا الإنسانية المحدودة نسبيًا. فيَدُك توقف جسيم α، رغم عدم إحساسك بأن الجسيم قد ارتطم بها. وفي اللحظة التي تقرأ فيها هذه العبارة، تعبر بلايين النيوترينوات neutrinos الشمسية خلال جسمك دون أن تشعر بها. لذلك ابتكر العلماء في القرن الماضي أدوات لكشف وتمييز نواتج التفاعلات النووية.

درست أن عينات اليورانيوم كوّنت طبقة ضبابية على الصفائح الفوتوجرافية؛ فعندما اصطدمت جسيمات α أو جسيمات β أو أشعة جاما بالصفيحة الفوتوجرافية أصبح لون الصفيحة ضبابيًا. لذلك يمكن استخدام تلك الصفائح للكشف عن الإشعاع. تستخدم أجهزة أخرى عديدة للكشف عن الجسيمات المشحونة وأشعة جاما. ومعظم هذه الأجهزة تعمل على مبدأ الاستفادة من حقيقة أن تصادم الذرات مع جسيمات ذات سرعة عالية تعمل على تحرير إلكترونات من الذرات، أي أن الجسيمات العالية السرعة تؤين المادة التي يُقذف بها. بالإضافة إلى ذلك تتألق (تلمع) بعض المواد، أو تبعث فوتونات عند تعرضها لأنواع معينة من الإشعاع. وهكذا فإن المواد الفلّورية يمكن أن تستخدم أيضًا للكشف عن الإشعاع. وإليك الطرائق الثلاث للكشف عن الإشعاع موضحة في **الشكل 12–6**.



■ **الشكل 12–6** يمكن الكشف عن الجسيمات عندما تتفاعل مع المادة، أو تتعرض لفيلم كاشف، أو تشحن المادة، أو تسبب انبعاث فوتونات من المادة.

عدّاد جايجر يحتوي أنبوب عدّاد جايجر- مولر على أسطوانة نحاسية ذات شحنة سالبة. يوضع أسفل مركز هذه الأسطوانة سلك شبك موجب الشحنة، بحيث يبقى فرق الجهد المطبّق على السلك والأسطوانة دون النقطة التي يحدث عندها التفريغ التلقائي للشحنات أو الومضة. عندما يدخل جسيم مشحون أو أشعة جاما إلى الأنبوب، يؤيِّن ذرة غاز بين أسطوانة النحاس والسلك، فيتسارع الأيون الموجب الناتج في اتجاه الأسطوانة تحت تأثير فرق الجهد، فيتسارع إلكترون في اتجاه السلك الموجب. وتولد حركة الجسيمات المشحونة في اتجاه الأقطاب سيلاً من الجسيمات المشحونة، فتولِّد نبضة التيار خلال الأنبوب.

مسارات التكاثف أول جهاز استخدم للكشف عن الجسيمات كان حجرة غيمة ولسون. تحتوي هذه الحجرة على منطقة مشبعة ببخار الماء أو بخار الإيثانول. وعندما تنتقل الجسيمات المشحونة خلال الحجرة تترك أثرًا من الأيونات في مسارها، فيتكاثف البخار على شكل قطرات صغيرة على تلك الأيونات. وبهذه الطريقة تتكون مسارات مرئية من القطرات، أو الضباب. وفي الكشاف المماثل الذي لا يزال يستخدم حتى الآن، والمسمى بحجرة الفقاعة، تعبر الجسيمات المشحونة خلال سائل تبقى درجة حرارته فوق درجة الغليان. في هذه الحالة فإن مسار الأيونات يسبب تكوُّن فقاعات بخار تحدد مسارات الجسيمات، كما في **الشكل 13–6**.

أنتجت التقنية الحديثة حجرات كشف تسمى حجرات سلك تشبه أنابيب جايجر- مولر العملاقة. وتفصل الصفائح الكبيرة بفجوة صغيرة مملوءة بغاز ذي ضغط منخفض. يحدث التفريغ الكهربائي في مسار الجسيم الذي يعبر خلال الحجرة فيكشف الحاسوب عن التفريغ، ويسجّل موقعه للتحليل التالي.

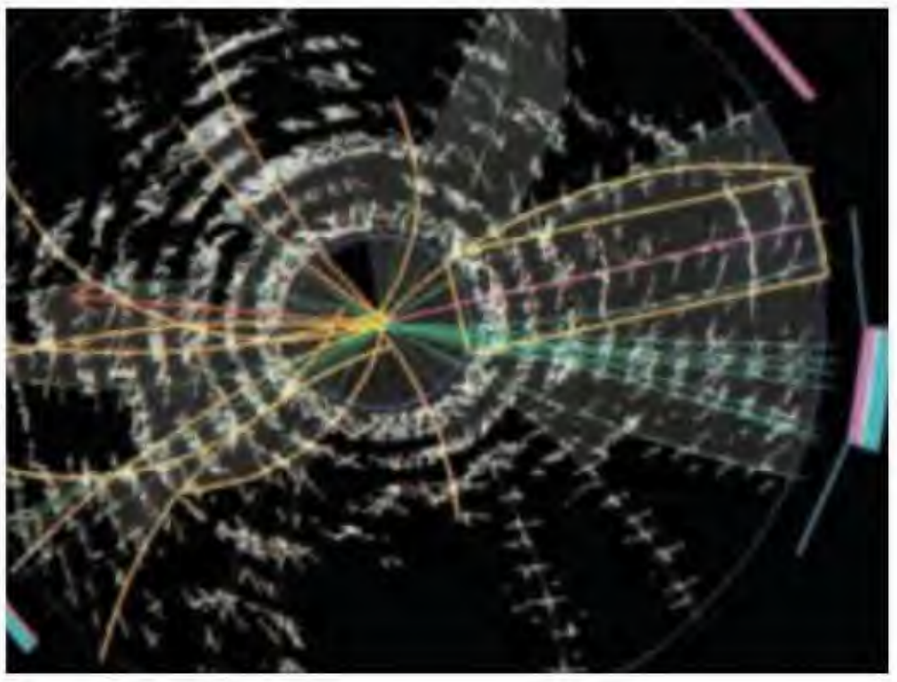
الجسيمات المتعادلة كهربائيًا لا تغادر المسارات؛ لأنها لا تُحدث تفريغًا. ويمكن استخدام قوانين حفظ الطاقة وحفظ الزخم في التصادمات لتبين ما إذا أنتجت جسيمات متعادلة. وتستخدم كواشف أخرى لتقيس طاقة الجسيمات. تستخدم مجموعة متكاملة من أجهزة الكشف في تجارب المسارعات العالية الطاقة، ومنها الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي؛ الذي يصل ارتفاعه إلى ارتفاع بناء من ثلاث طوابق، كما هو موضح في **الشكل 14a–6**. صمم الكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لرصد ربع مليون تصادم للجسيم في الثانية. يعمل الكاشف كآلة تصوير كتلتها 5000 طن، لتكوين صورة حاسوبية لحالات التصادم، كما هو موضح في **الشكل 14b–6**.

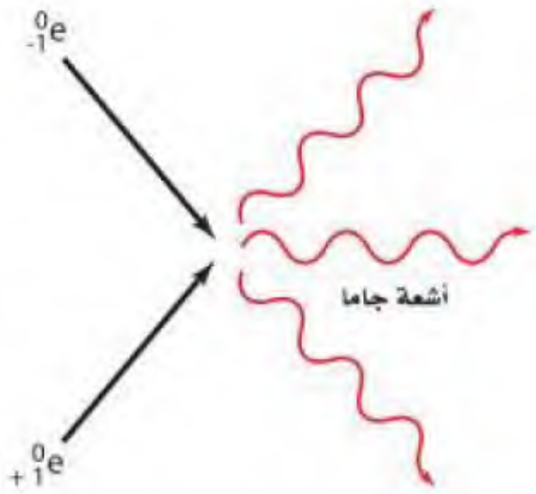


■ **الشكل 13–6** تُظهر صورة حجرة فقاعة اللون الوهمية مسار الجسيمات المشحونة.

■ **الشكل 14–6** في مختبر فيرمي، يسجّل الكاشف التصادمي المسارات الناتجة عن بلايين التصادمات (**a**). صورة حاسوبية للكاشف التصادمي في مختبر فيرمي لحالة الكوارك العلوي (**b**)







■ **الشكل 15–6** نتائج تصادم البوزترون والإلكترون في عملية إنتاج أشعة جاما

ضديد المادة Antimatter

في بداية عام 1920م توقع باول ديراك وجود ضديد جسيم خاص بكل نوع من الجسيمات. والإلكترون الموجب الذي يسمى بوزترون مثال على ضديد الجسيم. وللإلكترون والبوزترون نفس الكتلة ومقدار الشحنة، ومع ذلك فإن إشارتَيْ شحنتيهما متعاكستان. وعندما يصطدم إلكترون وبوزترون معًا فإن كلاً منهما يُفني الآخر، وينتج عن ذلك طاقة على شكل أشعة جاما، كما هو موضح في **الشكل 15–6**.

الجسيمات Particles

لقد كان نموذج الذرة الذي اكتشف عام 1930م بسيطًا للغاية؛ فالذرة فيه مكونة من بروتونات ونيوترونات محاطة بالإلكترونات. ثم عملت الدراسات العميقة للاضمحلال الإشعاعي على تطوير هذه الصورة المبسطة. فبينما جسيمات ألفا وأشعة جاما التي تنبعث من النواة المشعة لها طاقات أحادية تعتمد على النواة المضمحلة، فإن جسيمات بيتا تنبعث بمدى واسع من الطاقات. وقد يظن البعض أن طاقة جسيمات بيتا تساوي الفرق بين طاقة النواة قبل الاضمحلال وطاقة النواة الناتجة عن الاضمحلال. والحقيقة أن المدى الواسع لطاقات الإلكترونات المنبعثة خلال اضمحلال بيتا نبهت العالم نيلز بور إلى وجود جسيم آخر يمكن أن يشارك في التفاعل النووي؛ حيث يحمل جزءًا من الطاقة. توقع العالمان باولي عام 1931م وفيرمي عام 1934م وجود جسيم متعادل غير مرئي ينبعث مع جسيم بيتا. وقد أطلق عليه فيرمي اسم النيوترينو، ويعني في الإيطالية "جسيم صغير متعادل"، فهو عديم الشحنة ويصعب الكشف عنه، لذلك يطلق عليه الجسيم الشبحي. ولكن في الواقع فإن هذا الجسيم كان ضديد النيوترينو، ولم يلاحظ مباشرة حتى عام 1956م. أظهرت دراسات أخرى وجود جسيمات أخرى، منها الميون الذي يبدو كإلكترون ثقيل، وقد اكتشف عام 1937م. ففي عام 1935م شجعت فرضية الفيزيائي الياباني هيدكي يوكاوا الجديرة بالاهتمام على إجراء بحوث كثيرة في السنوات التالية؛ حيث افترض يوكاوا وجود جسيم جديد يستطيع حمل القوة النووية خلال الفراغ، تمامًا كما يحمل الفوتون القوة الكهرومغناطيسية. وفي عام 1947م اكتشف الجسيم المفترض وهو البيون. وعلى الرغم من أنه لم يكن يحمل القوة النووية القوية، لكنه كان نوعًا جديدًا من المادة.



فاز الياباني تاكاكي كاجيتا والكندي آرثر بي بجائزة نوبل للفيزياء لعام 2015 لاكتشافهما أن جسيمات النيوترينو لها كتلة.

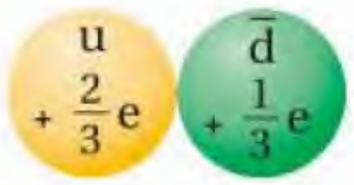
■ **الشكل 16–6** بالرغم من أن للكواركات شحنات جزئية فإن جميع الجسيمات التي تكوّنها لها عدد صحيح من الشحنات.



بروتون



نيوترون



بيون

لقد نتج عن التجارب التي أجريت على مسارعات الجسيم معرفة المزيد عن جسيمات أخرى جديدة، بعضها ذو كتلة متوسطة، وبعضها الآخر ذو كتلة أكبر من كتلة البروتون. وتحمل شحنات موجبة أو سالبة، أو لا تحمل شحنة، وبعضها له فترة حياة 10^{-23}s، ولبعضها الآخر فترة حياة غير محددة. من جهة أخرى سئل العالم فيرمي أن يحدد مسار جسيم ما عند نقطة معينة فأجاب "لو أستطيع أن أتذكّر أسماء جميع هذه الجسيمات فعندئذٍ سأكون عالم نبات".

النموذج المعياري The Standard Model

لقد أصبح واضحا في أواخر عام 1960م أن البروتونات والنيوترونات والبيونات ليست جسيمات أولية، بل مكونة من مجموعة من جسيمات تسمى الكواركات (quarks). ويعتقد العلماء الآن وجود ثلاث عائلات من الجسيمات الأولية وفقا **للنموذج المعياري** هي: الكواركات، واللبتونات، وحاملات القوى (البوزونات).



■ الجدول 3–6 يبين كيف تقسم الكواركات واللبتونات المعروفة إلى ثلاث عائلات. ويتكوّن عالم اليوم من جسيمات من عائلة اليد اليسرى (u, d, e) والجسيمات في المجموعة الوسطى (c, s, μ) موجودة في الأشعة الكونية، وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيم. ويعتقد أن عائلة اليد اليمنى (b, t, τ) مستثارة قليلاً خلال اللحظات المبكرة للانفجار العظيم، وتوجد نتيجة التصادمات العالية الطاقة. ويحمل مقياس البوزونات القوى الكهرومغناطيسية الضعيفة والقوية وقوى التجاذب الكتلي، ويعبّر عن الكتل بمكافئات الطاقة المعطاة بمعادلة أينشتاين. $E = mc^2$

عائلة **الكواركات** (quarks): تتحد الكواركات لتشكل الهادرونات التي تنقسم إلى مجموعتين فرعيتين، هما مجموعة الباريونات مثل: البروتونات والنيوترونات، ومجموعة الميوزونات مثل البيونات المكونة من كوارك وضديده كما في **الشكل 16–6**.

عائلة **اللبتونات** (leptons) مثل: الإلكترون، والميون، والتّاو.

عائلة **حاملات القوى** (force carriers) وتسمى كذلك البوزونات: وهي جسيمات تنقل القوى الأساسية، فمثلا تحمل الفوتونات القوة الكهرومغناطيسية، وتحمل الجلونات الثمانية القوى النووية القوية، أما البوزونات الثلاثة الضعيفة فهي التي تحمل القوة النووية الضعيفة، والجرافيتون حامل قوة الجاذبية الأرضية والذي لم يكتشف حتى الآن ويعتبر من نظريات ما بعد النموذج المعياري.

تشكل الكواركات واللبتونات المادة، بينما حاملات القوة جسيمات تنقل القوى، وقد تم تلخيص خصائص الجسيمات الأولية التي تمثل أساس النموذج المعياري في **الجدول 3–6**.

البروتونات والنيوترونات Protons and Neutrons

نموذج الكوارك يصف النيوكليونات (البروتونات والنيوترونات)، بوصفه تجمعًا من الكواركات. وكل نيوكليون مكوّن من ثلاثة كواركات، فيتكون البروتون من اثنين من الكواركات العلوية (up quarks) (شحنة $+\frac{2}{3}e$). وكوارك سفلي واحد (down quarks) (شحنة $-\frac{1}{3}e$)، ويعبر عن البروتون بالرمز $p=uud$. فشحنة البروتون عبارة عن مجموع شحنات ثلاثة كواركات $e+=e(\frac{2}{3}+\frac{2}{3}+-\frac{1}{3})$. بينما يتكون النيوترون من كوارك واحد علوي واثنين من الكواركات السفلية $n = u\,dd$؛ فشحنة النيوترون صفر. $e=0(\frac{2}{3}+-\frac{1}{3}+-\frac{1}{3})$.

لا يمكن مشاهدة الكواركات الحرة المنفردة؛ لأن القوة القوية التي تبقيها مجتمعة معًا تصبح أكبر كلما اندفعت الكوراكات ليبتعد بعضها عن بعض. في مثل هذه الحالة، تعمل القوة القوية كقوة النابض، فهي لا تشبه القوة الكهربائية التي تصبح أضعف كلما تحركت الجسيمات مبتعدةً بعضها عن بعض. وتنتقل القوة القوية في نموذج الكوارك بواسطة الجلونات.

التحولات بين الكتلة والطاقة
Conversions Between Mass and Energy

يمكن حساب كمية الطاقة التي تتولّد نتيجة فناء جسيم باستخدام معادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والكتلة $E = mc^2$. إن كتلة الإلكترون $9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$ وتساوي كتلة البوزترون. لذلك فإن الطاقة المكافئة للبوزترون والإلكترون معًا يمكن حسابها كما يلي:

$$E = 2\,(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s})^2$$

$$E = (1.64 \times 10^{-13}\ \text{J})\ (1\ \text{eV}/1.60 \times 10^{-19}\ \text{J})$$

$$E = 1.02 \times 10^{6}\ \text{eV}\ \text{أو}\ 1.02\ \text{MeV}$$



■ **الشكل 17–6** عندما ينتج الجسيم فإن ضديد هذا الجسيم ينتج أيضًا، هنا تضمحل أشعة جاما إلى زوج من الإلكترون والبوزترون.

عندمـا يكون كل من البوزترون والإلكترون في حالة سـكون فإن كلًّا منهما يفنى الآخر. ومجموع طاقات أشـعة جاما المنبعثة هو 1.02 MeV. ويمكـن أن يحدث أيضًا معكوس الفنـاء، أي أن الطاقة يمكـن أن تتحول مبـاشرةً إلى مادة. فإذا عبر شـعاع جاما بطاقة 1.02 MeV على الأقل بالقرب من نواة فقد ينتج زوج من البوزترون والإلكترون.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

يسمى تحوّل الطاقة إلى زوج الجسـيمات "مادة وضديد المادة" **إنتاجَ الزوج**. ولا يمكن أن تحدث التفاعلات منفـردة مثل تفاعـل $\gamma \rightarrow e^-$ و $\gamma \rightarrow e^+$؛ لأن مثل هذه التفاعلات لا تحقق قانون حفظ الشـحنة. وكذلك تفاعـلات $\gamma \rightarrow e^- + p$ لا تحدث أيضًا. فالزوج يجب أن يكون الجسيم وضديد الجسيم الخاص به.

جسيمات المادة وضديد المادة توجد في أزواج. ويوضح **الشكل 17–6** إنتاج زوج بوزترون – إلكترون؛ حيث يعمل المجال المغناطيسي حول حجرة الفقاعة على ثني مسارات الجسيمات المتعاكسـة الشحنة لتتحرك في اتجاهات متعاكسة. و لا تتبع أشعة جاما المنتجة المسار. وإذا كانت طاقة أشـعة جاما أكبر من 1.02 MeV فإن الفائض في الطاقة يظهر على شكل طاقة حركية للبوزترون والإلكترون، فيتصادم البوزترون في الحال مع إلكترون آخر، ويفني كل منهما الآخر، وينتج إشعاعان أو ثلاثة إشعاعات جاما لا تقل طاقتها الكلية عن 1.02 MeV.

حفظ الجسيم: كل كوارك وكل لبـتون أيـضًا له ضـديد جسـيم. يتـماثل ضديد الجسـيمات مع الجسيمات إلا في نوع الشـحنة؛ حيث تكون الشحنتان متعاكستين. فالكوارك العلوي u مثلاً شحنته $+\frac{2}{3}$، بينما ضديـد الكـوارك العلـوي $\bar{u}$ شحنتـه $-\frac{2}{3}$، وشحـنة الـبروتون uud هي $+1$، وشـحنة ضديد البروتون $\bar{u}\,\bar{u}\,\bar{d}$، $-\frac{2}{3}-\frac{2}{3}+\frac{1}{3}=-1$. وعندما يصطدم الجسـيم وضديده فإن كلًّا منهما يفنـى الآخر، ويتحولان إلى فوتونـات أو إلى زوج من جسـيم وضديد جسيم أخف وإلى طاقة. العدد الكلي للكواركات والعدد الكلي للبتونات في الكون ثابتة؛ حيث إن الكواركات واللبتونات توجد أو تفنى فقط بوصفهما زوج جسيم وضديد الجسيم. ومن جهة أخرى فإن حاملات القوى ومنها الجرافيتونات والفوتونات والجلونات والبوزونات الضعيفة قد توجد أو تفنى إذا كان هناك طاقة كافية.

يمكن أن يوجد ضديد للبروتونات أيضًا. فلضديد البروتون كتلة تساوي كتلة البروتون، ولكن شـحنته سالبة. و كتلة البروتون تسـاوي كتلة 1836 إلكترونًا. وهكذا فإن الطاقة اللازمة لتكوين زوج من البروتون وضديد البروتون كبيرة نسبيًّا. وقد تم إنتاج وملاحظة زوج البروتون وضديد البروتون أول مرة في باركلي، في كاليفورنيا عام 1955م.

مسائل تدريبية

35. كتلة البروتون 1.67×10^{-27} kg.

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة البروتون بوحدة الجول. **b.** حوّل هذه القيمة إلى وحدة eV.

c. أوجد الطاقة الكلية الأصغر لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من البروتون وضديد البروتون.

36. يمكن لكل من البوزترون والإلكترون أن يفني أحدهما الآخر، وينتج ثلاثة إشعاعات جاما. تم الكشف عن اثنين من إشعاعات جاما، فكانت طاقة أحدها 225 keV وطاقة الآخر 357 keV. ما طاقة إشعاع جاما الثالث؟

37. كتلة النيوترون 1.008665 u.

a. أوجد الطاقة المكافئة لكتلة النيوترون بوحدة MeV.

b. أوجد الطاقة الكلية الصغرى لأشعة جاما التي يمكن أن تؤدي إلى تكون زوج من النيوترون وضديد النيوترون.

38. كتلة الميون 0.1135 u، وهو يضمحل إلى إلكترون ونيوترينونين. ما مقدار الطاقة الناتجة عن هذا الاضمحلال؟

اضمحلال بيتا والتفاعل الضعيف
Beta Decay and the weak interaction

لا توجد إلكترونات عالية الطاقة منبعثة من اضمحلال بيتا للنواة المشعة داخل النواة. إذنْ من أين جاءت هـذه الإلكترونات؟ في عملية اضمحلال النيوترون يتحول النيوترون إلى بروتون، في حين لا يضمحل النيوترون داخل النواة المستقرة. بل الذي يمكن أن يضمحل إلى بروتون وينبعث جسـيم بيتا هو النيوترون الحر في النواة غير المستقرة. ويشارك ضديد النيوترينـو في الطاقة الناتجة مع البروتون وجسـيم بيتا. وضديد النيوترينو جسـيم كتلته صغيرة جدًّا، وهو عديم الشـحنة، ولكنـه كالفوتون؛ له زخم وطاقـة. وتكتب معادلة اضمحلال النيوترون كما يلي: ${}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{p} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}$

وعندما يضمحـل النظير بإطلاق بوزترون تحدث عملية شـبيهة باضمحلال بيتا. وعلى الرغم من أنه لم يشـاهد اضمحلال البروتون الحر فإنه يمكـن للبروتون داخل النواة أن يتحول إلى نيوترون مع إطلاق بوزترون ${}^{0}_{+1}\mathrm{e}$ ونيوترينو ${}^{0}_{0}\nu$.

$$ {}^{1}_{1}\mathrm{P} \longrightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e} + {}^{0}_{0}\nu $$

إن انحـلال النيوترونات إلى بروتونات، وانحلال البروتونـات إلى نيوترونات لا يمكن تفسيره بواسطة القوة القوية.

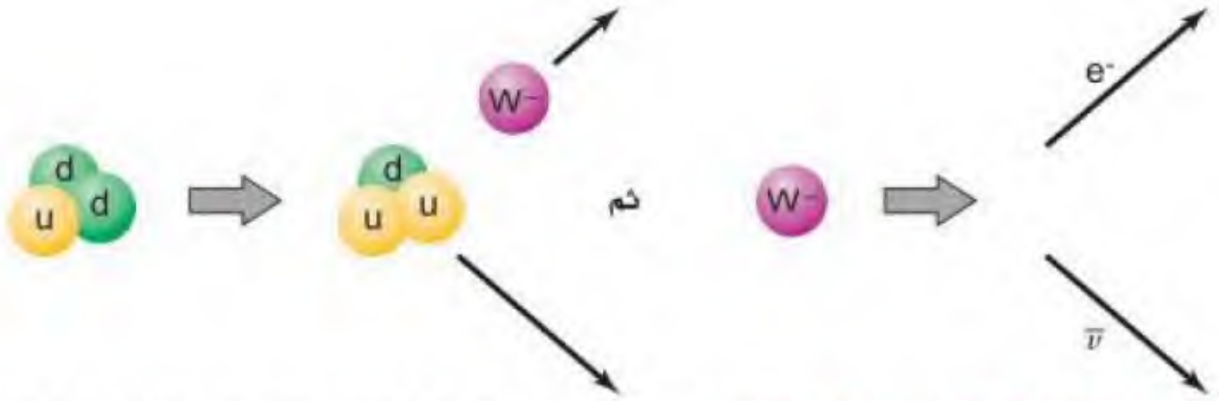
إن وجود انحلال بيتا يشير إلى أنه يجب أن يكون هناك تفاعل آخر، وهو **القوة النووية الضعيفة** التي تؤثر في النواة. وهذه القوة أضعف كثيرًا من القوة النووية القوية.

مسألة تحفيز

يضمحـل ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ بانبعاث α وبانبعاثين متتاليين لجسـيم β ويتحـول ثانية إلى نظير لليورانيوم.

1. وضّح معادلات الاضمحلال النووي الثلاث.

2. احسب العدد الكتلي لليورانيوم المتكوّن.



■ **الشكل 18–6** يبين انبعاث بيتا عند تحول نيوترون إلى بروتون بنموذج الكوارك:

$d \rightarrow u + W^-$ ثمّ $W^- \longrightarrow e^- + \nu$

نموذج الكوارك لاضمحلال بيتا إن الفرق بين البروتون uud، والنيوترون udd كوارك واحد فقط. حيث يحدث اضمحلال بيتا في نموذج الكوارك على مرحلتين، كما يتضح من **الشكل 18–6**. أولاً: كوارك d واحد في النيوترون يتحول إلى كوارك u مع انبعاث بوزون W^-؛ حيث W^- أحد ثلاثة حاملات قوة ضعيفة. وفي الخطوة الثانية يتحول البوزون إلى إلكترون وضديد النيوترينو، وبالمثل في تحلل البروتون في النواة ينبعث نيوترون وبوزون W^+ ، ومن ثم ينحل البوزون W^+ إلى بوزترون ونيوترينو.

إن انبعاث حامل القوة الضعيفة الثالث بوزون Z° لا يترافق مع تحوّل من كوارك إلى آخر. يُحدث البوزون Z° تفاعلاً بين النيوكليونات والإلكترونات في الذرات المماثلة، ولكنه أضعف كثيرًا من القوة الكهرومغناطيسية التي تحافظ على الذرة متماسكة؛ حيث تم الكشف عن هذا التفاعل أول مرة عام 1979م. وتمت مشاهدة البوزونات W^+، و W^-و Z° مباشرة أول مرة عام 1983م.

لقد ساد الاعتقاد طويلاً أن كلًّا من النيوترينات وضديد النيوترينات عديمة الكتلة، إلا أن التجارب الأخيرة التي التقطت النيوترينات المنبعثة من الشمس ومن المسارعات الطويلة أظهرت أن للنيوترينات كتلة. على الرغم من أن هذه الكتل أقل كثيرًا من كتلة أي جسيم معروف.

اختبار النموذج المعياري Testing the Standard Model

تستطيع أن تلاحظ من **الجدول 3–6** أن الكواركات واللبتونات تنفصل إلى ثلاث عائلات؛ فالعالم المحيط بنا يتكوّن من جسيمات في عائلة اليد اليسرى (بروتونات ونيوترونات وإلكترونات)، وجسيمات في المجموعة الوسطى توجد في الأشعة الكونية وتنتج بطريقة روتينية في مسارعات الجسيمات، وجسيمات عائلة اليد اليمنى التي يعتقد أنها كانت مستثارة قليلاً خلال اللحظات الأولى للانفجار العظيم، ونتجت عن تصادمات عالية الطاقة. ما الذي يحدد كتل الكواركات واللبتونات؟ إن بوزون هيجز الذي يفترض أنه جسيم يحدد كتل اللبتونات والكواركات، أعلن عن اكتشافه في المنظمة الأوربية للأبحاث النووية (سيرن CERN) عام 2012. وكرم البروفيسور بيتر هيجز عن الاكتشاف بجائزة نوبل في الفيزياء 2013م. فالنموذج المعياري ليس نظرية؛ لأنه لا يفسر كتل الجسيمات، ولا يفسر لماذا توجد ثلاث عائلات من الكواركات واللبتونات وحاملات القوى.





فاز البريطاني بيتر هيجز والبلجيكي فرانسوا إنغليرت بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2013 تقديرا لأعمالهما التي أدت إلى الاكتشاف النظري لبوزون هيجز.

لماذا توجد أربع قوى؟ إن الاختلافات بين التفاعلات الرئيسة الأربعة واضحة؛ فقد تؤثر القوى بكميات مختلفة في الشحنة أو الكتلة، وقد يكون لها تبعيات مختلفة على المسافات، وحاملات القوى لها خصائص مختلفة. وعلى أي حال، هناك بعض التماثل بين التفاعلات. فمثلاً القوى بين الجسيمات المشحونة، والتفاعلات الكهرومغناطيسية تُحمل بواسطة الفوتونات بطريقة مماثلة لحمل البوزونات الضعيفة للتفاعل الضعيف. والقوى الكهربائية تؤثر في مدى واسع؛ لأن كتلة الفوتونات صفر، بينما القوى الضعيفة تؤثر في مسافات قصيرة لأن كتل البوزونات W و Z كبيرة نسبيًّا. إن التركيب الرياضي لنظريات التفاعل الضعيف والتفاعل الكهرومغناطيسي متماثلان.



■ **الشكل 19–6** في النجم فوق المستعر، ليست القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متمايزة. والضوء المتزايد والنيوترونات الصادرة من النجم فوق المستعر 1987A تصل الأرض في اللحظة نفسها، وهذا يظهر أن النيوترينات تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء وتنتج في النجم الأعظم. وكما هو متوقع، ظهر النجم فوق المستعر قبل الانفجار (**a**)، خلال الانفجار (**b**)، وبالقرب من هابل (**c**).

تشـير النظريات الفلكية الفيزيائية للنجم فوق المستعر إلى حدوث تفاعلين متماثلين خلال الانفجارات النجميـة الهائلة، كتلك الموضحة في **الشـكل 19–6**. أما النظريات الحالية المتعلقـة بأصل الكون فتتوقع أن القوتين كانتا متماثلتـين خلال اللحظات المبكرة للكون كذلك. لهذا السـبب، كانت القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة متحدتين في قوة واحدة تسمى قوة كهربائية ضعيفة.

بالطريقة نفسـها تبـين أن القوى الكهرومغناطيسـية والقوة الضعيفـة متحدتان في قوة كهربائيـة ضعيفة خلال عام 1970م. كذلك توصـل الفيزيائيون الآن إلى تطوير نظريات تتضمن القوة القوية أيضًا، ولا يزال العمل غير مكتمل. وما زالت النظريات تتطور، ويتم التخطيط لاختبار هذه النظريات الآن. ونظرية الاتحاد التام التي تتضمن التجاذب تحتاج إلى المزيد من العمل.

وقد ظهر ارتباك كبير نتيجة الدراسـات التي أجريت على المجرات والتي تتوقع أن المادة التي تم وصفها بالنموذج المعياري تكوّن فقط جزءًا صغيرًا من كتلة الكون. والجزء الأكبر من المادة شـكلت المادة المعتمة؛ وقد سميت بذلك لأنها لا تتفاعل مع الفوتونات أو المادة العاديـة، لكنها قوة التجـاذب. والتي تبدو كطاقة معتمة، وقوة غـير معروفة تعمل على تسارع تمدد الكون.

لذلك فإن الدراسـات المتعلقة بالجسـيمات المتناهية في الصغر التـي تكوّن الأنوية تتصل مباشرة مـع البحوث المتعلقة بالأنظمة الكبيرة والمجرات التـي تكوّن الكون. وقد اعتاد فيزيائيـو الجسـيمات الأولية وعلماء الكـون أن يكونوا في النهايتين المتعاكسـتين لمقياس الطول. والآن يتسـاءلون معًا: "ما وحدات البناء الأساسية التي يتكون منها العالم؟". قد يستطيعون الإجابة عن هذا السؤال في المستقبل.

3–6 مراجعة

39. **قـذف النواة** لماذا يحتـاج البروتون إلى طاقة أكثر من النيوترون عندما يستخدم لقذف النواة؟
40. **مسـارع الجسـيمات** تتحرك البروتونات في مسـارع مختبر فيرمي **الشـكل 11–6** في اتجاه عكس عقارب الساعة. ما اتجاه المجال المغناطيسي في مغانط الثني؟
41. **إنتـاج الـزوج** يوضح **الشـكل 18–6** إنتاج أزواج الإلكترون–البوزترون. لماذا تنثني مجموعة المسارات السفلية أقل من انثناء زوج المسارات العلوية؟
42. **النمـوذج المعيـاري** ابحـث في محـددات النمـوذج المعياري والبدائل المحتملة.
43. **التفكير الناقد** تأمل المعادلتين التاليتين:

$w^+ \rightarrow e^+ + \nu$ و $u \rightarrow d^+ w^+$

كيـف يمكن اسـتخدامهما لتفسـير الاضمحلال الإشـعاعي للنيوكليـون الذي ينتج عـن انبعاث البوزترون والنيوترينو؟ اكتب المعادلة التي تتضمن نيوكليونات بدلاً من الكواركات.

مختبر الفيزياء

صمّم تجربتك

استكشاف الإشعاع

تستخدم كاشفات الإشعاع طرائق مختلفة للكشف عن وجود الإشعاع. من الأنواع الشائعة للكواشف المستخدمة أنبوب جايجر- مولر. وهو يتكون من أنبوب فلزي مملوء بغاز عند ضغط منخفض وسلك شبك طويل على طول محور الأنبوب. يخضع السلك لفرق جهد عال 400–800 V بالنسبة إلى الأنبوب الفلزي. ويوجد عند إحدى نهايتي الأنبوب نافذة رقيقة وهشّة. عندما يدخل فوتون أو جسيم مشحون بطاقة عالية إلى الأنبوب من خلال النافذة فإن جزءًا من الغاز يصبح مؤينًا، فتنجذب إلكترونات التأين في اتجاه السلك وتزداد سرعتها، ومن ثَم تؤين ذرات إضافية مكوّنة نبضة من الشحنات تصطدم بالسلك. وتتحول نبضة الشحنة هذه إلى نبضة جهد، ثم تُضخّم وتُعدّ أو ترسل إلى مكبر الصوت.

تعلمت سابقًا أن الضوء والإشعاع الكهرومغناطيسي ينتشر في جميع الاتجاهات، ويسير في خطوط مستقيمة من المصدر، كالشمس مثلاً. في هذه التجربة سوف تستكشف العلاقة بين المسافة من مصدر جاما وبيتا المشع، وشدة الإشعاع المقيس.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين المسافة من مصدر إشعاع جاما وبيتا وشدة الإشعاع؟

الأهداف

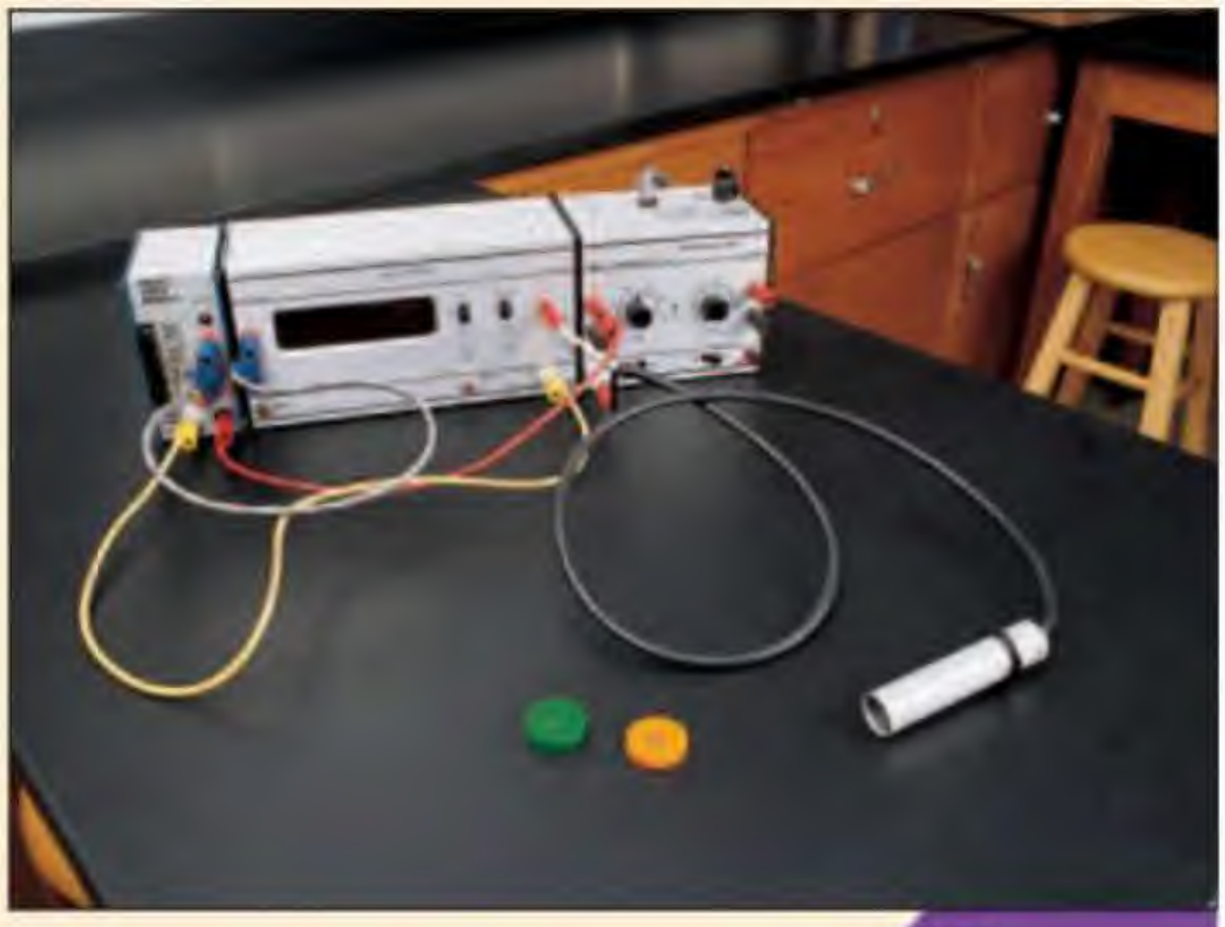
- **تقيس** الإشعاع.
- **تستخدم المتغيرات والثوابت والضوابط** لتصميم تجربتك.
- **تجمع وتنظم البيانات** عن النشاطية الإشعاعية لأشعة جاما وجسيمات بيتا بدلالة البعد عن المصدر.
- **تقارنة وتستنتج** نشاطية بيتا وجاما الإشعاعية.

احتياطات السلامة

- **إذا استخدمت عداد جايجر فحافظ على بقاء الأيدي والأقلام وغيرها من الأشياء بعيدة عن نهاية أنبوب جايجر؛ فنافذة الأنبوب رقيقة وهشة جدًّا.**
- **صل الأجهزة في المقابس المحمية فقط؛ تجنبًا لخطر الصدمة الكهربائية.**
- **لا تأكل أو تشرب في أثناء العمل بالمواد المشعة.**
- **كن حذرًا من تمزق فتحة الحافظة البلاستيكية الحامية للمادة المشعة. فإذا حدث ذلك فأبلغ معلمك فورًا.**

المواد والأدوات

مصادر بيتا وجاما.
عداد إشعاعي أو كاشف إشعاعي.
مسطرة مترية.
شريط لاصق.
ساعة وقف.



جدول البيانات	
الإشعاع الخلفي (عدات لكل دقيقة = cpm)	cpm

المسافة (cm)	بيتا– المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	بيتا– المصححة معدل الإشعاع (cpm)	جاما– المقيسة معدل الإشعاع (cpm)	جاما– المصححة معدل الإشعاع (cpm)
2				
4				
6				
8				
10				
12				
14				

الخطوات

1. يختلف نوع عداد الإشعاع أو أنبوب جايجر– مولر، والأنابيب المتوافرة في المدارس بعضها عن بعض كثيرًا. يجب أن تأخذ هذا في الحسبان في خطواتك، وكذلك الاهتمام بكيفية تجميع وحمل الجهاز المتوافر وكل من الكاشف والمادة المشعة.
2. عندما يكون الكاشف على بعد 1 m على الأقل بعيدًا عن المواد المشعة، قم بتشغيل الكاشف، وقس الإشعاع. وهذا يسمى الإشعاع الأولي. سجّل المقدار في جدول البيانات.
3. قس إشعاع بيتا وجاما الصادرين عن المصادر المشعة لديك وعلى مسافات مختلفة.
4. اطرح معدل الإشعاع الأولي من معدل الإشعاع المسجّل للحصول على النشاطية المصحّحة.
5. تأكد أن تفحص – بمساعدة معلمك – وتتأكد من تصميمك قبل أن تواصل تجربتك.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** ما مقدار الإشعاع الأولي في هذه التجربة؟
2. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثل معدل إشعاع جاما مقابل بُعد، ثم عيّن البُعد على المحور الأفقي ومعدل العد المصحح للعينة على المحور الرأسي. إذا كانت معدلات العد متماثلة فعيّن معدل عد بيتا على الرسم البياني نفسه، وميّز الرسم البياني لكل مجموعة بيانات.
3. **مثّل بيانيًا واستخدم الرسوم البيانية** عيّن نقاطًا على الرسم البياني تمثّل معدل الإشعاع المصحح لكل من بيتا وجاما مقابل $1/d^2$.

الاستنتاج والتطبيق

1. **وضح** فيم يتشابه المنحنيان؟ وما العلاقة بين البعد ومعدلات العد؟
2. **وضح** كيف يتغير معدل العد الأولي لشخص عندما ينتقل من الساحل في مستوى سطح البحر مقارنة بمستوى قمة جبل؟
3. **صف** ما يحدث لمعدل عد بيتا عندما يتحرك أنبوب جايجر – ميلر إلى الخلف ثلاثة أمثال المسافة الأولية. على سبيل المثال 18 cm مقارنة بـ 6 cm.

التوسع في البحث

ما الظواهر الفيزيائية الأخرى التي تتبع أنماطًا مماثلة؟

الفيزياء في الحياة

اشرح كيف يشكل قربك من المواد المشعة خطرًا محتملاً لك أو للآخرين؟

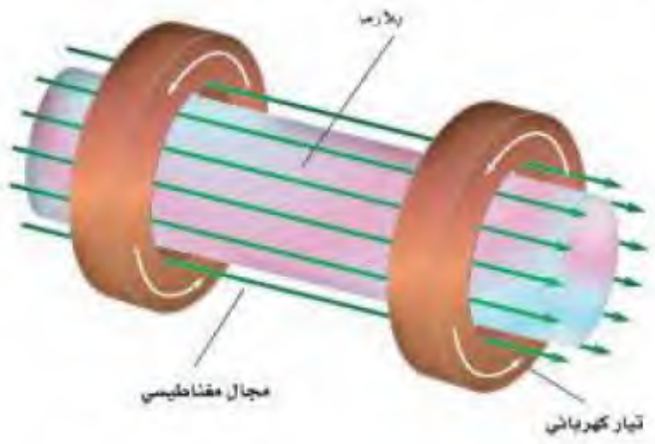
تقنية المستقبل

الاندماج النووي الحراري Thermonuclear Fusion

لعدة عقود مضت بحث الفيزيائيون في إيجاد ودعم تفاعل الاندماج الذي يولّد طاقة أكبر من تلك الطاقة التي يستهلكها. يولّد المفاعل الحراري النووي حرارة هائلة جدًّا من كميات صغيرة من الديوتيريوم $^{2}_{1}H$ ، والتريتيوم $^{3}_{1}H$ ، والذي يمكن استخلاصه من مياه البحر.

لبدء تفاعل الاندماج يجب أن يسخن خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ويضغط تحت ظروف معيارية مشابهة لتلك الموجودة في الشمس. وسوف تحطم الحرارة المتوافرة محتويات العبوات المستخدمة في محطات الانشطار النووي. ويعدّ احتجاز البلازما من مشكلات التصميم الرئيسة للمفاعلات الاندماجية.

العزل المغناطيسي في مفاعلات العزل المغناطيسي، يعبر تيار قوي خلال وعاء يحوي غاز الديوتيريوم والتريتيوم، فتنضغط البلازما داخل الجزء الدائري. وتحدد المجالات المغناطيسية الإضافية شكل سيل البلازما لتعزله بعيدًا عن جوانب الوعاء، كما في الشكل. يحافظ أحد التركيبات الإلكترونية الفضلى على بقاء البلازما على شكل حلقي، مما يعطي فائدة عظيمة بعدم وجود نهايات تتطلب أن تختم.



العزل المغناطيسي: تنضغط البلازما وتعزل بواسطة المجال المغناطيسي.

العزل بالقصور الذاتي إذا نظرت إلى قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر)، يتحرك سريعًا بحركة شبيهة بحركة وتر فستلاحظ أن هناك صعوبة كبيرة في أن تحافظ على البلازما في شكل ثابت.

في مفاعل العزل بالقصور الذاتي فإن كُريّة صغيرة الحجم من الديوتيريوم- التريتيوم المتجمد تضاء من كل الجوانب بواسطة حزم ليزر قوية جدًّا. تُسخّن حزم الليزر هذه الطبقة الخارجية للكريّة فتنفجر سريعًا. وبصورة متزامنة يُضغط المتبقي من الكرية ويسخّن إلى درجة كبيرة يبدأ عندها الاندماج النووي.

تعمل الطاقة الناتجة عن اندماج الكُرية على زيادة الطاقة التي تُستخدم لتسخين الكرية، فيندمج سيل من الكريات الواحدة تلو الأخرى للحصول على تحفيز مستمر، ويتم تجميع الحرارة الناتجة لإنتاج بخار لتشغيل التوربينات.



في العزل بالقصور الذاتي، يسخّن الضوء أو الأشعة السينية الناتجة عن الليزر سطحَ الكُريات بسرعة، مكوّنة غلافًا يحيط بالبلازما. أما الوقود المتبقي فيضغط بنفخ المواد السطحية الساخنة.

المستقبل في الوقت الذي لا يزال الاندماج الحراري النووي مستمرًّا في كلا النوعين من المفاعلات النووية، يواجه الباحثون صعوبة في تحقيق التفاعل المتعادل (أي أن الطاقة الناتجة عن التفاعل تزيد على الطاقة اللازمة للمحافظة على استمرار التفاعل). والتقدم الذي يتم إنجازه في تصميم المفاعل الحراري النووي العملي يعدّ مكلفًا وبطيئًا، إلا أن الأمل في تحقيق ذلك كبير. ولا يخلو مفاعل الاندماج تمامًا من المخلّفات المشعة الخطرة؛ لأن النيوترونات تنتج في مفاعلات الاندماج، لكن لأن الوقود غير مشع بنفسه فإنه يمكن تجاهل المخلفات النووية.

التوسع

1. **التحليل** لماذا يبدو المفاعل النووي الحراري مصدر طاقة مفضل؟
2. **المقارنة** درست ثلاثة أنواع من محطات توليد الطاقة الحرارية الكهربائية. ما الميزات العامة التي تمتاز بها كل من هذه المحطات؟

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6-1 النواة The Nucleus

المفردات

- العدد الذري
- وحدة الكتلة الذرية
- العدد الكتلي
- (النويدة) نواة النظير
- القوة النووية القوية
- النيوكليونات
- طاقة الربط النووية
- فرق الكتلة

المفاهيم الرئيسة

- إن عدد البروتونات في النواة يمثل بالعدد الذري Z.
- إن مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة يساوي العدد الكتلي A.
- الذرات التي لها العدد نفسه من البروتونات وعدد نيوترونات مختلف تسمى النظائر.
- تربط القوة النووية القوية مكوّنات النواة معًا.
- تحسب الطاقة المتحررة في التفاعل النووي بحساب فرق الكتلة، وهو الفرق بين كتلة الجسيمات قبل التفاعل وبعده من العلاقة $E= mc^2$
- طاقة الربط النووية هي الطاقة المكافئة لفرق الكتلة.

6-2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية Nuclear Decay and Reactions

المفردات

- المواد المشعة
- اضمحلال ألفا
- اضمحلال بيتا
- اضمحلال جاما
- التفاعل النووي
- عمر النصف
- النشاط الإشعاعي
- الانشطار النووي
- تفاعل متسلسل
- الاندماج النووي

المفاهيم الرئيسة

- تضمحل النواة غير المستقرة متحوّلة إلى عنصر آخر.
- يُنتج الاضمحلال الإشعاعي ثلاثة أنواع من الجسيمات، هي: جسيمات ألفا (α) وهي أنوية هيليوم، وجسيمات بيتا (β)، وهي إلكترونات عالية السرعة، وأشعة جاما (γ)، وهي أشعة مكوّنة من فوتونات عالية الطاقة.
- في التفاعلات النووية، لا يتغير مجموع العدد الكتلي A، ولا الشحنة الكلية Z.
- عمر النصف للنظير المشع هو الزمن اللازم لتحول نصف عدد أنويته. وبعد t من أعمار النصف تحسب بالعلاقة: $N=N_o(1/2)^n$
- إن عدد اضمحلالات العينة المشعة لكل ثانية تمثل النشاطية الإشعاعية.
- في الانشطار النووي تنقسم نواة اليورانيوم إلى نواتين أصغر وينبعث نيوترونات وطاقة.
- تستخدم المفاعلات النووية الطاقة المتحررة من الانشطار النووي لتوليد طاقة كهربائية.

6-3 وحدات بناء المادة The Building Blocks of Matter

المفردات

- الكواركات
- اللبتونات
- النموذج المعياري
- حاملات القوة
- إنتاج الزوج
- القوة النووية الضعيفة

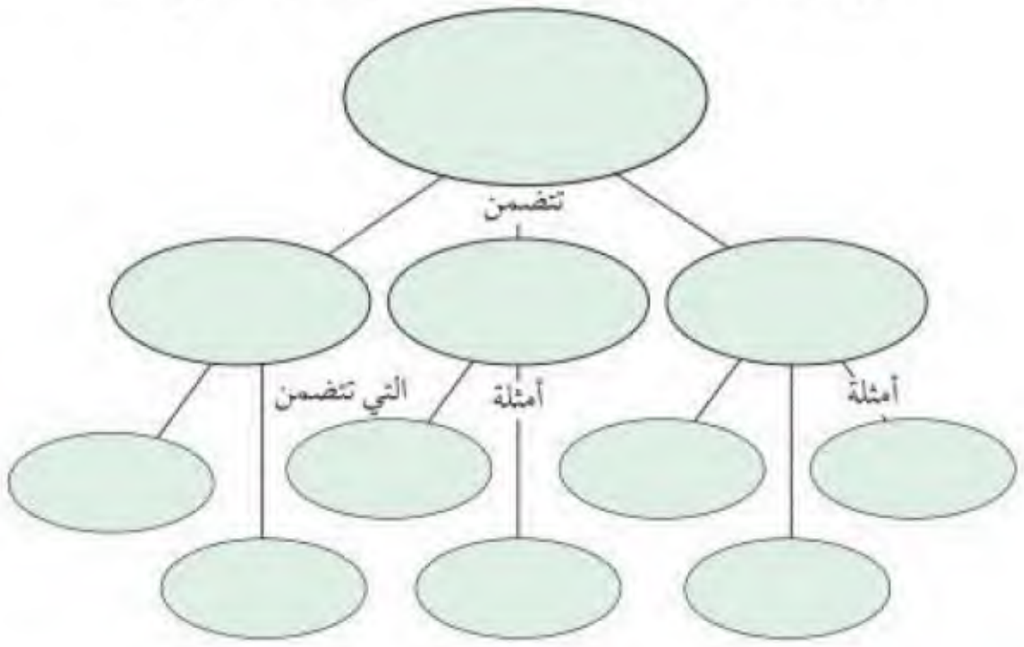
المفاهيم الرئيسة

- المسارعات الخطية والمسارعات الدائرية التزامنية تنتج جسيمات عالية الطاقة.
- يستخدم عداد جايجر– مولر، وحجرة السحابة، وكواشف الجسيمات الأخرى، التأين الناتج عن شحن الجسيمات عند عبورها خلال المادة.
- تبدو المادة كلها أنها تتكون من الكواركات واللبتونات.
- تتفاعل المادة مع مادة أخرى عن طريق جسيمات تسمى حاملات القوة.
- النموذج المعياري يتضمن الكواركات واللبتونات وحاملات الطاقة.
- عندما تتحد جسيمات ضديد المادة المماثلة مع جسيمات المادة تتحول كتلتها وطاقتها إلى طاقة أو إلى مادة أخف –زوج من ضديد الجسيم.

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

44. نظّم المصطلحات التالية في خريطة المفاهيم: النموذج المعياري، أشعة جاما، حاملات القوة، البروتونات، النيوترونات، اللبتونات، بوزونات W، نيوترينوات، إلكترونات، جلونات.



إتقان المفاهيم

45. ما القوة التي تدفع النيوكليونات داخل النواة ليبتعد بعضها عن بعض؟ وما القوة التي تعمل على ربط مكوّنات النواة معًا داخل النواة؟ (1-6)

46. عرّف فرق كتلة النواة. ما سببها؟ (1-6)

47. أي الأنوية أكثر استقرارًا عمومًا: الصغيرة أم الكبيرة؟ (1-6)

48. ما النظير الذي له عدد أكبر من البروتونات: اليورانيوم- 235 أم اليورانيوم- 238؟ (1-6)

49. عرّف مفهوم الاضمحلال، كما يستخدم في الفيزياء، واذكر مثالاً عليه. (2-6)

50. **الجسيم المُشِع** ما الأسماء الشائعة لكل من جسيم α، وجسيم β، وإشعاع γ؟ (2-6)

51. ما الكميتان اللتان يجب أن تكونا محفوظتين دائمًا في أي تفاعل نووي؟ (2-6)

52. **الطاقة النووية** ما سلسلة العمليات التي يجب أن تحدث حتى يحدث التفاعل المتسلسل؟ (2-6)

53. **الطاقة النووية** ما الدور الذي يؤديه المهدئ في مفاعل الانشطار؟ (2-6)

54. الانشطار النووي والاندماج النووي عمليتان متعاكستان. كيف يحرر كل منهما الطاقة؟ (2-6)

55. **فيزياء الطاقة القوية** لماذا لا يعمل المسارع الخطي بالنيوترونات؟ (3-6)

56. **القوى** في أي التفاعلات الأربعة التالية (القوية، الضعيفة، الكهرومغناطيسية، التجاذب) تشارك الجسيمات التالية؟ (3-6)

a. إلكترون

b. بروتون

c. نيوترينو

57. ماذا يحدث للعدد الذري والعدد الكتلي للنواة التي تشع بوزترونًا؟ (3-6)

58. **ضديد المادة** ماذا يحدث إذا سقط حجر نيزكي يتكوّن من ضديد بروتونات وضديد نيوترينو وضديد إلكترونات على الأرض؟ (3-6)

تطبيق المفاهيم

59. **الانشطار** يدّعي أحد المواقع الإلكترونية أن العلماء سيكونون قادرين على إخضاع الحديد للانشطار النووي. هل يمكن أن يكون هذا الادعاء صحيحًا؟ فسّر.

60. استخدم الرسم البياني لطاقة الربط لكل نوية في **الشكل 2-6** لتحديد ما إذا كان التفاعل ${}^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}H$ ممكنًا من حيث الطاقة؟

61. **النظائر** وضح الفرق بين النظائر المشعة التي تنتج اصطناعيًا وتلك التي تنتج طبيعيًا.

62. **المفاعل النووي** في المفاعل النووي، يتدفق الماء الذي يعبر من قلب المفاعل خلال حلقة واحدة، بينما يتدفق الماء الذي يولّد البخار لتحريك التوربينات خلال الحلقة الثانية. لماذا توجد حلقتان؟

تقويم الفصل 6

63. انشطار نواة اليورانيوم واندماج أنوية الهيدروجين الأربعة لإنتاج نواة الهيليوم كلاهما ينتجان طاقة.

a. أيهما ينتج طاقة أكبر؟

b. في أي الحالتين التاليتين تكون الطاقة الناتجة أكبر: انشطار كيلوجرام واحد من أنوية اليورانيوم، أم اندماج كيلوجرام من الهيدروجين؟

c. لماذا تختلف إجابة الجزأين a و b؟

إتقان حل المسائل

6–1 النواة

64. ما الجسيمات التي تكوّن ذرة $^{109}_{47}Ag$؟ وما عدد كل منه؟

65. ما رمز النظير (الذي يستخدم في التفاعلات النووية) لذرة زنك مكوّنة من 30 بروتونًا و 34 نيوترونًا؟

66. نظير الكبريت $^{32}_{16}S$ له كتلة نووية مقدارها 31.97207 u ما مقدار:

a. فرق الكتلة للنظير؟

b. طاقة الربط النووية لنواة الكبريت؟

c. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

67. لنظير النيتروجين $^{12}_{7}N$ كتلة نووية مقدارها 12.0188 u ما مقدار:

a. طاقة الربط لكل نيوكليون؟

b. أيهما يحتاج إلى طاقة أكبر: فصل النيوكليون من نواة $^{12}_{7}N$، أو من نواة $^{14}_{7}N$؟ علمًا بأن كتلة $^{14}_{7}N$ تساوي 14.00307 u.

68. يبتعد بروتونان موجبا الشحنة في نواة الهيليوم أحدهما عن الآخر مسافة 2.0×10^{-15} m تقريبًا. استخدم قانون كولوم لإيجاد القوة الكهربائية للتنافر بين البروتونين. سوف تعطيك الإجابة مؤشرًا عن مقدار القوة النووية القوية.

69. إذا كانت طاقة الربط النووية لنواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ 28.3 MeV− فاحسب كتلة نظير الهيليوم بوحدة الكتلة الذرية.

6–2 الاضمحلال النووي والتفاعلات النووية

70. اكتب المعادلة النووية الكاملة لاضمحلال ألفا للنظير $^{222}_{86}Rn$.

71. اكتب المعادلة النووية الكاملة لاضمحلال بيتا للنظير $^{89}_{36}Kr$.

72. أكمل المعادلات النووية التالية:

a. $^{225}_{89}Ac \rightarrow {}^{4}_{2}He + ____$

b. $^{227}_{88}Ra \rightarrow {}^{0}_{-1}e + ____ + ____$

c. $^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \longrightarrow ____ \longrightarrow {}^{1}_{1}p + _____$

d. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{96}_{40}Zr + 3({}^{1}_{0}n) + ____$

73. عمر النصف لنظير معين 3.0 أيام. ما النسبة المئوية للمادة الأصلية التي ستبقى بعد:

a. 6.0 أيام؟ **b.** 9.0 أيام؟ **c.** 12 يومًا؟

74. في إحدى حوادث مختبر أبحاث، انسكب نظير مشع عمر النصف له ثلاثة أيام. وكان الإشعاع ثمانية أضعاف الكمية العظمى المسموح بها. كم يجب أن ينتظر العاملون قبل أن يستطيعوا الدخول إلى المختبر؟

75. عندما يُقذف نظير البورون $^{11}_{5}B$ ببروتونات فإنه يمتص بروتونًا ويطلق نيوترونًا.

a. ما العنصر المتكوّن؟

b. اكتب المعادلة النووية لهذا التفاعل.

c. النظير المتكون مشع ويضمحل بانبعاث بوزترون. اكتب المعادلة النووية الكاملة لهذا التفاعل.

76. حررت القنبلة الذرية الأولى طاقة تعادل 2.0×10^{1} كيلو طن من مادة TNT. فإذا كان كل كيلو طن واحد من TNT يكافئ 5.0×10^{12} j. وكان اليورانيوم-235 يحرر ذرة/ 3.21×10^{-11} j، فكم كانت كتلة اليورانيوم 235 التي خضعت للانشطار لتوليد طاقة القنبلة؟

77. خلال تفاعل الاندماج يتحد ديوترونان $^{2}_{1}H$ لتكوين نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$. ما الجسيم الآخر الذي تكوّن؟

78. عمر النصف لنظير البولونيوم $^{209}_{84}Po$ 103 سنة. كم تستغرق عينة 100 g حتى تضمحل ليبقى منها 3.1 g؟

تقويم الفصل 6

6–3 وحدات بناء المادة

79. ما شحنة الجسيم الذي يتكوّن من ثلاثة كواركات علوية؟

80. شحنة ضديد الكوارك معاكسة لشحنة الكوارك. يتكوّن البيون من كوارك علوي ومن ضديد الكوارك السفلي $u\bar{d}$. ما شحنة هذا البيون؟

81. تتكون البيونات من كوارك وضديد الكوارك. أوجد شحنة البيون الذي يتكون من:

a. $u\bar{u}$

b. $d\bar{u}$

c. $d\bar{d}$

82. الباريونات جسيمات تتكون من ثلاثة كواركات. أوجد الشحنة على كل من الباريونات التالية:

a. نيوترون ddu.

b. ضديد بروتون $\bar{u}\,\bar{u}\bar{d}$.

83. نصف قطر السنكروترون في مختبر فيرمي 2.0 km، وتتحرك البروتونات التي تدور داخله بسرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ تقريبًا.

a. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها البروتون حتى يكمل دورة كاملة.

b. تدخل البروتونات الحلقة بطاقة 8.0 GeV فتكتسب طاقة 2.5 MeV في كل دورة. ما عدد الدورات التي يجب أن يكملها قبل أن تصل طاقتها إلى 400.0 GeV؟

c. ما الفترة الزمنية التي تحتاج إليها البروتونات حتى تتسارع إلى 400.0 GeV؟

d. ما المسافة التي تقطعها البروتونات التي تنقل خلال هذا التسارع؟

84. **الشكل 20–6** يبيّن مسارات في حجرة الفقاعة. ما بعض الأسباب التي تسبب انحراف أحد المسارات أكثر من المسارات الأخرى؟



الشكل 20–6

85. كل الأنوية التالية تستطيع أن تمتص جسيم α.افترض أنه لا تنبعث جسيمات ثانوية من النواة، أكمل المعادلات التالية:

a. $^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ____

b. $^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow$ ____

86. عمر النصف للرادون $^{211}_{86}\mathrm{Rn}$ 15h. ما الكمية المتبقية من العينة بعد مرور 60 h؟

87. إحدى تفاعلات الاندماج البسيطة تتضمن إنتاج الديوتيريوم $^{2}_{1}\mathrm{H}$ (2.014102 u) من نيوترون وبروتون. اكتب تفاعل الاندماج الكامل، وأوجد مقدار الطاقة المتحررة.

88. كتلة نواة اليورانيوم $^{232}_{92}\mathrm{U}$ = 232.0372 u، ويضمحل إلى الثوريوم $^{228}_{90}\mathrm{Th}$ ، الذي كتلته = 228.0287 u، بانبعاث جسيم α الذي كتلته = 4.0026 u، وطاقته الحركية 5.3 MeV، كم يجب أن تكون الطاقة الحركية لنواة الثوريوم المتكونة؟

التفكير الناقد

89. **استنتج** لأشعة جاما زخم. وزخم شعاع جاما ذي الطاقة E يساوي E/c، حيث c سرعة الضوء. عندما يضمحل زوج إلكترون-بوزترون إلى إشعاعي جاما فإن كلًّا من الزخم والطاقة يجب أن يكونا محفوظين. إذا كان مجموع طاقات أشعة جاما تساوي 1.02 MeV، وكان كل من البوزترون

تقويم الفصل 6

والإلكترون مبدئيًا في حالة سكون، فكم يجب أن يكون مقدار واتجاه زخم إشعاعين من أشعة جاما؟

90. **استنتج** إذا كان زوج إلكترون-بوزترون مبدئيًا في حالة سكون، ويستطيع أن يضمحل إلى ثلاثة إشعاعات جاما، وكانت إشعاعات جاما الثلاثة لها طاقات متساوية، فكيف يجب أن تكون اتجاهاتها النسبية؟ وضّح بالرسم.

91. **قدّر** يُطلق تفاعل اندماجي واحد في الشمس طاقة 25 MeV تقريبًا. قدّر عدد التفاعلات التي تحدث في ثانية من سطوع الشمس الذي يكون عنده معدل الطاقة المنبعثة 4×10^{26} W.

92. **تفسير البيانات** يُراقَب نظير يخضع لاضمحلال إشعاعي بواسطة كاشف إشعاعي، فيسجّل عدد العدات كل خمس دقائق. وبحسب النتائج الموضحة في **الجدول 4-6** أزيلت العينة بعد ذلك، وسجّل الكاشف الإشعاعي 20 عدة ناتجة عن الأشعة الكونية خلال 5 دقائق. أوجد عمر نصف النظير. لاحظ أنه يجب أن تطرح 20 عدة أولية من كل نتيجة. ثم عيّن العدات كدالة رياضية مع الزمن برسم بياني، وحدد عمر النصف.

الجدول 4-6

قياسات الاضمحلال الإشعاعي	
الزمن (دقيقة)	العدات (لكل 5 دقائق)
0	987
5	375
10	150
15	70
20	40
25	25
30	18

الكتابة في الفيزياء

93. ابحث في الفهم الحالي للمادة المعتمة في الكون، وما أهمية هذه المادة لعلماء الكونيات؟ وما مكونات هذه المادة؟

94. ابحث في تعقّب الكوارك العلوي. لماذا افترض الفيزيائيون وجوده؟

مراجعة تراكمية

95. إلكترون طول موجة دي برولي له 400.0 nm. (الطول الموجي الأقصر في الضوء المرئي). (الفصل 3)

a. أوجد سرعة الإلكترون.

b. احسب طاقة الإلكترون بوحدة eV.

96. يدخل فوتون طاقته 14.0 eV ذرة هيدروجين في حالة استقرار ويؤينها. ما مقدار الطاقة الحركية التي ينطلق بها الإلكترون من الذرة؟ (الفصل 4)

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. ما عدد البروتونات، النيوترونات، والإلكترونات في نظير النيكل 60 ($^{60}_{28}Ni$)؟

	البروتونات	النيوترونات	الإلكترونات
A	28	32	28
B	28	28	32
C	32	32	28
D	32	28	28

2. ما الذي يحدث في التفاعلات التالية؟

$$^{212}_{82}Pb \longrightarrow {}^{212}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\bar{\nu}$$

(A) اضمحلال ألفا (C) اضمحلال جاما

(B) اضمحلال بيتا (D) فقد بروتون

3. ما الناتج عندما يخضع البولونيوم- 210 $^{210}_{84}Po$ لاضمحلال ألفا؟

(A) $^{206}_{82}Pb$ (C) $^{210}_{85}Pb$

(B) $^{208}_{82}Pb$ (D) $^{210}_{80}Pb$

4. تبعث عينة من اليود- 131 المشع جسيمات بيتا بمعدل 2.5×10^8 Bq. إذا كان عمر النصف لليود 8 أيام. فما النشاطية بعد مرور 16 يومًا؟

(A) 1.6×10^7 Bq (C) 1.3×10^8 Bq

(B) 6.3×10^7 Bq (D) 2.5×10^8 Bq

5. حدد النظير المجهول في هذا التفاعل:

$$^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + \text{نيوترون} + ?$$

(A) $^{1}_{1}H$ (C) $^{3}_{1}H$

(B) $^{2}_{1}H$ (D) $^{4}_{2}H$

6. أي نوع من الاضمحلال لا يغير عدد البروتونات أو النيوترونات في النواة؟

(A) البوزترون (C) بيتا

(B) ألفا (D) جاما

7. نظير البولونيوم – 210 له عمر نصف 138 يومًا. ما مقدار الكمية المتبقية من عينة 2.34 kg بعد مرور أربعة أعوام؟

(A) 0.644 mg (C) 1.51 g

(B) 1.50 mg (D) 10.6 g

8. يتصادم إلكترون وبوزترون فيفني كل منهما الآخر، ويطلقان طاقتهما على شكل أشعة جاما. ما أقل طاقة لأشعة جاما؟ (الطاقة المكافئة لكتلة الإلكترون 0.51 Mev).

(A) 0.51 MeV (C) 931.49 MeV

(B) 1.02 MeV (D) 1863 MeV

9. يبيّن الرسم التوضيحي أدناه المسارات في حجرة الفقاعة التي تنتج عندما تضمحل أشعة جاما إلى بوزترون وإلكترون. لماذا لا تغادر أشعة جاما المسار؟



(A) تنتقل أشعة جاما بسرعة عالية جدًا خلال مساراتها لكي يتم اكتشافها.

(B) أزواج من الجسيمات فقط يمكن أن تغادر المسارات في حجرة الفقاعة.

(C) يجب أن يكون للجسيم كتلة حتى يتفاعل مع السائل ويغادر المسار، وأشعة جاما عديمة الكتلة فعليًا.

(D) أشعة جاما متعادلة كهربائيًا، لذلك فلا تؤين السائل.

الأسئلة الممتدة

10. يطلق انشطار نواة يورانيوم – 235 طاقة 3.2×10^{-11} J تقريبًا. ويحرر طن واحد من مادة TNT طاقة 4×10^{9} J تقريبًا. ما عدد أنوية اليورانيوم – 235 في قنبلة الانشطار النووي الذي يطلق طاقة تكافئ 20000 طن من مادة TNT؟

✓ إرشـــاد

استطلع

ابحث في الظروف التي ستقدم فيها الامتحان. هل حدد موعده أم لا؟ هل يسمح لك باستخدام الآلة الحاسبة أو أي أدوات أخرى؟ هل الثوابت الفيزيائية ســتكون مرفقة مع ورقــة الامتحان؟ إن معرفة هذه الأشــياء مسبقًا قد تمكنك من تجريب تقديم الامتحان تحت ظروف مشابهة.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات
- الجدول الدوري للعناصر

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الوحدة	رمز الوحدة
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	رمز الوحدة	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	Pascal	P*a*	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol = 6.022 \times 10^{23}$

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}$ kg	1.66×10^{-27} kg
عدد أفوجادرو	N_A	6.0221415×10^{23} mol^{-1}	6.022×10^{23} mol^{-1}
ثابت بولتزمان	k	1.3806505×10^{-23} Pa.m^3/K	1.38×10^{-23} Pa.m^3/K
ثابت الغاز	R	8.314472 Pa.m^3/mol.K	8.31 Pa.m^3/mol.K
ثابت الجاذبية	G	6.6742×10^{-11} N.m^2/kg^2	6.67×10^{-11} N.m^2/kg^2

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
femto	f	10^{-15}
Pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
deka	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4 C°)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الانصهار (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الجداول

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^{5}	5.07×10^{6}
ذهب	6.30×10^{4}	1.64×10^{6}
حديد	2.66×10^{5}	6.29×10^{6}
رصاص	2.04×10^{4}	8.64×10^{5}
زئبق	1.15×10^{4}	2.72×10^{5}
ميثانول	1.09×10^{5}	8.78×10^{5}
فضة	1.04×10^{5}	2.36×10^{6}
ماء (جليد)	3.34×10^{5}	2.26×10^{6}

المصطلحات

أ

أشباه الموصلات Semiconductors مواد موصلة منها السليكون والجرمانيوم، وعندما تصنع منها أدوات صلبة فإنها تعمل على تضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة.

أشباه الموصلات غير النقية Extrinsic Semiconductors أشباه الموصلات يكون توصيلها كبيرًا بسبب احتوائها على شوائب.

أشباه الموصلات النقية Intrinsic Semiconductors أشباه الموصلات النقية التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا.

اضمحلال ألفا Alpha decay عملية اضمحلال إشعاعي ينبعث فيها جسيم ألفا من النواة.

اضمحلال بيتا beta decay عملية اضمحلال إشعاعي يتحول فيها نيوترون إلى بروتون يبقى في النواة وجسيم بيتا وضد نيوترينو.

اضمحلال جاما Gamma Decay عملية اضمحلال إشعاعي يتم فيها إعادة توزيع الطاقة داخل النواة، لكن دون تغير في العدد الكتلي أو مقدار الشحنة.

الانبعاث المحفز stimulated emission عملية تحدث عندما تصطدم ذرة مثارة بفوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي مستوى الإثارة وطاقة مستوى الاستقرار، فتعود الذرة إلى حالة الاستقرار، وينبعث فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين.

إنتاج الزوج Pair Production تحوّل الطاقة إلى جسيمات مزدوجة "مادة وضديد المادة".

الاندماج النووي Fusion عملية يتم فيهااندماج أنوية صغيرة لإنتاج نواة أكبر وتحرير طاقة.

الانشطار النووي Fission عملية تنقسم فيها النواة إلى نواتين أو أكثر ونيوترونات وطاقة.

الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic radiation الطاقة التي تحمل أو تشع على شكل موجات كهرومغناطيسية

ت

التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect انبعاث إلكترونات من سطوح الفلزات عند سقوط إشعاع كهرومغناطيسي مناسب عليها.

تأثير كومبتون Compton Effect الإزاحة في طاقة الفوتونات المشتتة.

الترانزستور Transistor أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالجة بالشوائب، ويعمل مضخمًا، ومقويًا للإشارات الضعيفة.

تردد العتبة Threshold Frequency أقل تردد للأشعة الساقطة يمكنه تحرير إلكترونات من العنصر.

المصطلحات

التفاعل المتسلسل Chain Reaction عملية مستمرة ومتكررة من تفاعلات الانشطار سببها تحرير نيوترونات من تفاعل الانشطارالأول.

التفاعل النووي Nuclear Reaction عملية تحدث عندما يتغير عدد النيوترونات أو عدد البروتونات في النواة. وقد تحدث عندما تقذف النواة بأشعة جاما، أو بروتونات، أو نيوترونات، أو جسيمات ألفا، أو إلكترونات.

التيار الدوامي Eddy current تيار متولد في قطعة حديد تتحرك في مجال مغناطيسي متغير، وتولد مجالًا مغناطيسيًّا معاكسًا لاتجاه الحركة التي ولّدت التيار.

التيار الكهربائي الحثي Inductive electric current التيار الكهربائي المتولد عندما يتحرك سلك في مجال مغناطيسي بحيث يقطع خطوط المجال المغناطيسي أثناء حركته، أو عندما يتحرك مصدر المجال المغناطيسي في منطقة السلك.

ج

جسيمات ألفا Alpha Particles جسيمات موجبة الشحنة وثقيلة، وتتحرك بسرعات عالية، ويرمز لها بالرمز α.

ح

حالة الإثارة Excited State أي مستوى طاقة للذرة أعلى من مستوى الاستقرار.

حالة الاستقرار Ground State حالة الذرة عندما يكون لها أقل مقدارمسموح به من الطاقة.

حاملات القوة Force Carriers جسيمات تنقل أو تحمل القوى في المادة.

الحث الذاتي Self-Inductance حث قوة دافعة كهربائية **EMF** في سلك يتدفق فيه تيار متغير.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic induction عملية توليد التيار الكهربائي في دائرة، وسببه الحركة النسبية بين السلك والمجال المغناطيسي عندما يتحرك السلك خلال المجال المغناطيسي، أو عندما يتحرك المجال المغناطيسي خلال السلك.

الحث المتبادل Mutual inductance تأثير التغير في التيار الكهربائي المار بالملف الابتدائي لمحول كهربائي، والذي يحدث تغيّرا في المجال المغناطيسي ينتقل خلال القلب الحديدي إلى الملف الثانوي في المحول ليولد التغير في المجال قوة دافعة كهربائية حثية متغيرة **EMF**.

د

الدايود Diode شبه موصل بسيط يوصل الشحنات في اتجاه واحد، ويتكوّن من قطعة صغيرة من أشباه الموصلات من النوع **p** موصولة بقطعة أخرى من النوع **n**.

دالة (اقتران) الشغل work function الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون الأضعف ارتباطا في الفلز

المصطلحات

ر

الرقاقة الميكروية Microchip دوائر متكاملة تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات.

س

السحابة الإلكترونية Electron Cloud منطقة احتمال وجود الإلكترون فيها كبير.

ش

الشوائب Dopants ذرات مانحة أو مستقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة تضاف إلى أشباه الموصلات النقية تسمى الشوائب فتعمل على زيادة موصليتها ، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية.

ض

الضوء المترابط Coherent light ضوء من مصدرين أو أكثر، يولد موجة ذات مقدمات منتظمة. أو موجات ضوء تكون متطابقة عند القمم والقيعان.

الضوء غير المترابط Incoherent light ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم. أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور، قممها وقيعانها غير متوافقة.

ط

طاقة الربط النووية Binding Energy طاقة مكافئة لنقص كتلة النواة، وهي دائما سالبة.

طبقة النضوب Depletion layer منطقة تحيط بالطبقة الفاصلة **pn**، ولايوجد فيها فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة، وتصبح موصلاً ضعيفًا جدًّا.

طول موجة دي برولي De Broglie Wavelength طول الموجة الملازمة للجسم المتحرك.

طيف الامتصاص Absorption Spectrum مجموعة مميزة من الأطوال الموجية، تُنتج عند امتصاص الغاز جزءًا من الطيف، وتستخدم لتعرُّف نوع الغاز.

طيف انبعاث Emission Spectrum ضوء ينبعث من الأجسام الساخنة والمتوهجة في نطاق محدد من الترددات.

الطيف الكهرومغناطيسي Electro magnetic Spectrum طيف يتكون من مدى الترددات والأطوال الموجية التي تشكل جميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي.

المصطلحات

ع

العدد الذري Atomic Number عدد البروتونات في نواة العنصر.

العدد الكتلي Mass Number عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة العنصر.

عدد الكم الرئيسي Principal quantum Number عدد صحيح **n** يحدد القيم المكماة لنصف القطر أو الطاقة لمستوى (مدار) الإلكترون ـــ يتضاعف نصف القطر عندما يتضاعف مربع **n** بينما تعتمد الطاقة على مقلوب n^2 .

عمر النصف Half -life الفترة الزمنية اللازمة لاضمحلال نصف أي كمية من ذرات نظير عنصر مشع.

العوازل الكهربائية Dielectrics مواد غير موصلة – منها الزجاج والهواء والماء – تنتقل خلالها الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة أقل من سرعة الضوء في الفراغ.

ف

الفوتون photon حزمة مكماة منفصلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، لا كتلة لها، تتحرك بسرعة الضوء، ولها طاقة وكمية تحرك.

فرق الكتلة mass defect الفرق بين مجموع كتل النيوكليونات المفردة المكونة للنواة والكتلة الفعلية لها

ق

القاعدة الرابعة لليد اليمنى Forth right-hand rule الطريقة المستخدمة لتحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنات الموجودة داخل الموصل المتحرك داخل مجال مغناطيسي.

قانون لنز Lenz's low ينص على أن التيار الحثي المتولد يكون اتجاهه دائمًا بحيث يقاوم المجال المغناطيسي الذي كان سببًا في توليده أو التغير في المجال المغناطيسي الذي ولده.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية Electromotive force فرق جهد مقيس بالفولت، معطى للشحنات بواسطة البطارية، ويرمز له بالرمز **EMF**.

القوة النووية الضعيفة Weak Nuclear Force قوة ضعيفة تؤثر في انبعاث بيتا داخل النواة.

القوة النووية القوية Strong Nuclear Force قوة كبيرة جدًّا تربط مكونات النواة، وهي القوة نفسها بين البروتونات والبروتونات، أو بين البروتونات والنيوترونات، أو بين النيوترونات والنيوترونات.

ك

الكهرباء الإجهادية Piezoelectricity خاصية للبلورة تسبب انحناءها أو تشوهها فتولد تذبذبات كهربائية عند تطبيق فرق جهد عليها.

المصطلحات

الكواركات quarks جسيمات صغيرة تكون البروتونات والنيوترونات والبيونات.

ل

اللبتونات leptons مجموعة من الجسيمات تكون الإلكترونات والنيوترينات.

ليـزر laser أداة تنتج ضوءًا موحدًا مترابطًا متفقًا في الطور يســتخدم لإثــارة ذرات أخرى، وينتج عن طريق الانبعاث المحفز بالإشعاع.

م

مبدأ عدم التحديد لهيزنبرج Uncertainty Principle ينص على أنه لا يمكن تحديد موقع جســيم وزخمه بدقة عالية، في اللحظة نفسها.

متوسط القدرة Average power نصف القيمة القصوى للقدرة المرتبطة مع التيار المتناوب.

المحول الخافض Step-down transformer نوع من المحولات، ينتج عندما يكون فرق الجهد الناتج عن المحول أقل من فرق الجهد المدخل إليه.

المحـول الرافـع Step-up transformer نوع من المحولات، ينتج عندما يكون فرق الجهد الناتج عن المحول أكبر من فرق الجهد المدخل إليه.

المحوّل الكهربائي Transformer جهاز يمكنه رفع أو خفض فرق الجهد في دوائر **AC** مع فقدان قليل من الطاقة.

المُستقبِل receiver جهاز يســتعمل للحصول على معلومات من الموجات الكهرمغناطيسية، ويتكون من هوائي ودائرة ملف ومكثف وكاشف لفك شفرة الإشارة ومضخم.

مستوى الطاقة Energy level كمية محددة من الطاقة توجد في كل مستوى للذرة.

مطياف الكتلة Mass Spectrometer جهاز يســتخدم المجالين الكهربائــي والمغناطيسي في قياس كتلة الذرات المتأينة والجزيئات، ويحدّد نسبة شحنة الأيون إلى كتلته.

مكمّاة quantized الطاقة الموجودة في حزمة محددة.

الملـف الابتدائـي Primary coil أحــد ملفي المحول الكهربائي، يولد قوة دافعــة كهربائية حثية متناوبة **EMF** في الملف الثانوي عند وصله بمصدر فرق جهد متناوب **Ac**

الملف الثانوي secondary coil أحد ملفي المحول الكهربائي المعزول، تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية متناوبة بواسطة مرور تيار **AC** بالملف الابتدائي.

المواد المشعة Radioactive مواد ينبعث منها إشعاعات تلقائيًا، وهذه الإشعاعات لها قدرة على النفاذ.

المصطلحات

الموجة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Wave موجة ناتجة عن التغير المزدوج في المجالين الكهربائي والمغناطيسي، وتنتقل في الفضاء.

المولد الكهربائي Electric generator جهاز يحوّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ويتكون من عدد من الملفات الموضوعة في مجال مغناطيسي قوي.

ميكانيكا الكم Quantum Mechanics دراسة خصائص المادة باستخدام خصائصها الموجية.

ن

النشاط الإشعاعي Radio activity معدل الاضمحلال، أو عدد انحلالات المادة المشعة كل ثانية.

النظير Isotope كل شكل من الأشكال المختلفة للذرة نفسها، له كتلة مختلفة والخصائص الكيميائية نفسها.

النموذج الكمي Quantum Model نموذج يتوقع احتمالية وجود الإلكترون في منطقة محددة.

النموذج المعياري Standard Model نموذج بناء وحدات المادة، تتوزع فيه الجزيئات على ثلاث مجموعات، هي الكواركات واللبتونات وحاملات القوة.

النيوكليونات nucleons البروتونات والنيوترونات.

النويدة (نواة النظير) Nuclide مصطلح يطلق على نواة النظير،وجميع نويدات العنصر لها العدد نفسه من البروتونات ولكن لها أعدادا مختلفة من النيوترونات

النواة Nucleus جزء صغير جدا في مركز الذرة، موجب الشحنة، تتركز فيه معظم كتلة الذرة

نظرية الأحزمة للمادة الصلبة Band theory of solids مستويات الطاقة لحالة الاستقرار في كل ذرة في البلورة الصلبة تتجزأ -بسبب المجالات الكهربائية للذرات المجاورة لها- إلى مستويات طاقة متعددة تظهر كحزمتي تكافؤ وتوصيل منفصلتين بفجوات طاقة ممنوعة

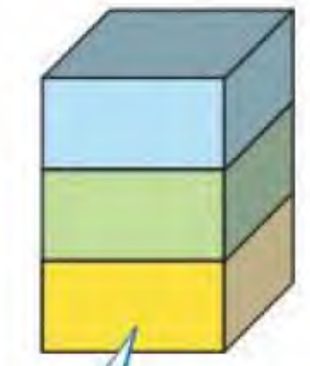
هـ

الهوائي Antenna سلك مصمّم لنقل أو استقبال الموجات الكهرمغناطيسية.

و

وحدة الكتل الذرية Atomic Mass Unit وحدة كتلة u؛ حيث u تساوي 1.66×10^{-27} kg.

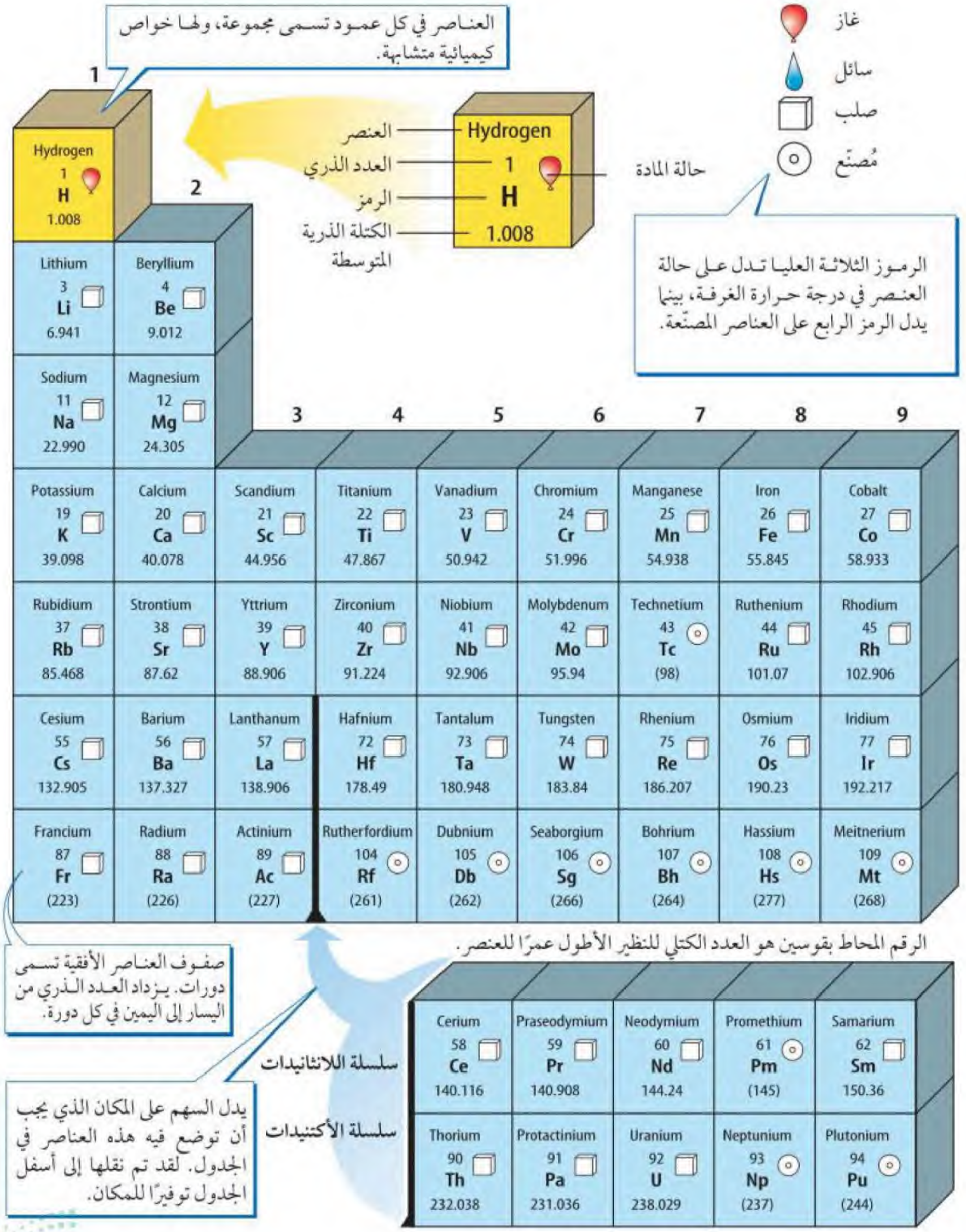
الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًا أو شبه فلز أو لافلزًا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn (277)	Nihonium 113 Nh 286.183	Flerovium 114 Fl 289.191	Moscovium 115 Mc 290.196	Livermorium 116 Lv 293.205	Tennessine 117 Ts 294.211	Oganesson 118 Og 294.214

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)


غاز
سائل
صلب
مُصنّع
حالة المادة
العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.
العنصر
العدد الذري
الرمز
الكتلة الذرية المتوسطة
Hydrogen
1
H
1.008
الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنّعة.
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Hydrogen 1 H 1.008
Lithium 3 Li 6.941
Beryllium 4 Be 9.012
Sodium 11 Na 22.990
Magnesium 12 Mg 24.305
Potassium 19 K 39.098
Calcium 20 Ca 40.078
Scandium 21 Sc 44.956
Titanium 22 Ti 47.867
Vanadium 23 V 50.942
Chromium 24 Cr 51.996
Manganese 25 Mn 54.938
Iron 26 Fe 55.845
Cobalt 27 Co 58.933
Rubidium 37 Rb 85.468
Strontium 38 Sr 87.62
Yttrium 39 Y 88.906
Zirconium 40 Zr 91.224
Niobium 41 Nb 92.906
Molybdenum 42 Mo 95.94
Technetium 43 Tc (98)
Ruthenium 44 Ru 101.07
Rhodium 45 Rh 102.906
Cesium 55 Cs 132.905
Barium 56 Ba 137.327
Lanthanum 57 La 138.906
Hafnium 72 Hf 178.49
Tantalum 73 Ta 180.948
Tungsten 74 W 183.84
Rhenium 75 Re 186.207
Osmium 76 Os 190.23
Iridium 77 Ir 192.217
Francium 87 Fr (223)
Radium 88 Ra (226)
Actinium 89 Ac (227)
Rutherfordium 104 Rf (261)
Dubnium 105 Db (262)
Seaborgium 106 Sg (266)
Bohrium 107 Bh (264)
Hassium 108 Hs (277)
Meitnerium 109 Mt (268)
الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.
صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.
سلسلة اللانثانيدات
سلسلة الأكتنيدات
Cerium 58 Ce 140.116
Praseodymium 59 Pr 140.908
Neodymium 60 Nd 144.24
Promethium 61 Pm (145)
Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038
Protactinium 91 Pa 231.036
Uranium 92 U 238.029
Neptunium 93 Np (237)
Plutonium 94 Pu (244)
يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.

رؤيـــة VISION
2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

طالب

- لديه قيم عالية
- فخور بإرثه الثقافي العريق
- واعٍ وقوي
- مثقف ومبدع
- يحترم هويته الوطنية
- يؤمن بالوسطية والاعتدال والتسامح
- يمتلك المعارف والمهارات اللازمة لوظيفة المستقبل